

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЫЦИНА

М. А. Денисов

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ.
КОМПАС-3D**

Учебное пособие

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2014

УДК 004.925(075.8)
ББК 32.973.202я73-1
Д332

Рецензенты:

кафедра инженерной графики Уральского государственного горного университета
(заведующий кафедрой канд. техн. наук, д-р пед. наук Е. И. Шангина)
заведующий лабораторией «Системного моделирования» Института машиноведения
Уральского отделения РАН РФ д-р техн. наук А. Г. Залазинский

Денисов, М. А.

Д33 КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. КОМПАС-3D : [учебное пособие] /
М. А. Денисов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 76 с.

ISBN 978-5-7996-1127-9

В учебном пособии изложены основы компьютерного проектирования технических объектов, включающие используемые подходы, методы, технологии и структуру процесса.

Рассмотрены системы автоматизированного проектирования и инженерного анализа объектов. Методы конструирования технических устройств рассмотрены как примеры выполнения чертежей в САПР КОМПАС-3D. Описаны примеры выполнения двумерных чертежей объектов, примеры объемного 3D-проектирования и разработки электронных моделей технических объектов.

Рекомендовано учебно-методическим советом ИММТ для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 150400 «Металлургия» (уровень подготовки бакалавр и магистр) по специальностям «Компьютерная графика», «Компьютерные методы проектирования промышленных печей», «Компьютерные методы проектирования газоочистных устройств».

УДК 004.925(075.8)
ББК 32.973.202я73-1

ISBN 978-5-7996-1127-9

© Денисов М. А., 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	6
1.1. Методология проектирования технологических объектов	6
1.2. Компьютерные технологии проектирования	10
1.3. Системы автоматизированного проектирования в технике	11
1.4. Системы инженерного анализа	14
Глава 2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ «КОМПАС-3D»	17
2.1. Интерфейс программы «КОМПАС-График»	17
2.2. Работа в «КОМПАС-График» при выполнении чертежа «Прокладка»	19
2.2.1. Создание и сохранение чертежа	19
2.2.2. Изменение параметров чертежа	20
2.2.3. Заполнение основной надписи	21
2.2.4. Создание нового вида. Локальная система координат	21
2.2.5. Вычерчивание изображения прокладки	22
2.2.6. Простановка размеров	25
2.2.7. Ввод технических требований	27
2.2.8. Задание материала изделия	28
2.3. Сложные разрезы в чертеже детали «Основание»	28
2.3.1. Подготовка чертежа	28
2.3.2. Черчение по сетке из вспомогательных линий	29
2.3.3. Изображение разрезов	32
2.4. Чертежи общего вида при проектировании	33
Глава 3. ОСНОВЫ ОБЪЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САПР «КОМПАС-3D»	37
3.1. Интерфейс программы	37
3.2. Общее представление о трехмерном моделировании	40
3.3. Основные операции геометрического моделирования	42
3.3.1. Операция выдавливания	42
3.3.2. Операция вращения	47
3.3.3. Кинематическая операция	51
3.3.4. Построение тела по сечениям	53
3.4. Операции конструирования	54
3.4.1. Построение фасок и скруглений	55
3.4.2. Построение уклона	56
3.4.3. Сечение модели плоскостью	56
3.4.4. Сечение по эскизу	57
3.4.5. Создание моделей-сборок	58

3.5. Разработка электронных 3D-моделей тепловых устройств	61
3.5.1. Электронные модели в ЕСКД	62
3.5.2. Электронные «чертежи» в ЕСКД	64
3.5.3. Электронная имитационная модель огневой камеры для контрольного испытания горелки ДВБ-250	68
3.5.4. Электронная модель сборочного изделия «Газовая горелка»	72
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	75

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии изложены основы компьютерного проектирования технических объектов. Рассмотрены системы автоматизированного проектирования и инженерного анализа технических решений. Методы конструирования рассматриваются на примерах, использующих систему проектирования «КОМПАС-3D». Система «КОМПАС-3D» имеет ряд конкурентных преимуществ в сравнении с другими пакетами проектирования и динамично развивается. По мнению многих конструкторов, она является лучшим программным продуктом для традиционного 2D-проектирования и очень удобным средством выполнения проектов по стандартам Российской Федерации. «КОМПАС-3D» легка в освоении, имеет удобные библиотеки и обширный функционал даже в некоммерческих версиях. Поэтому она оказалась самым востребованным средством обучения методам современного проектирования в системе инженерного образования. Вопросы проектирования с использованием систем численного инженерного анализа рассмотрены в отдельном издании.

В первой главе учебного пособия рассмотрены методология и средства компьютерного проектирования. Вторая глава описывает методы двумерного моделирования и построения чертежей объектов, третья глава представляет методы объемного проектирования и разработки электронных моделей технических объектов.

Пособие разработано на кафедре инженерной графики ИНФО и кафедре теплофизики и информатики в металлургии ИММТ УрФУ.

Глава I

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1.1. Методология проектирования технологических объектов

Под проектированием понимают создание образа не существующего объекта в заданной форме [1]. В технике проектирование может рассматриваться как создание описаний нового или модернизируемого технического объекта (изделия, процесса), достаточных для реализации этого объекта в заданных условиях. Процесс проектирования можно определить и как совокупность эвристических и алгоритмических операций, выполняемых на разных стадиях работы над проектом.

Проектирование начинается с разработки технического предложения или технического задания. В результате работы создается **проект** – комплект документации, содержащий информацию, достаточную для изготовления объекта. Комплект содержит чертежи, спецификации, пояснительные записки и т. д. Проект создается в результате выполнения комплекса исследовательских, расчетных или конструкторских работ.

Процесс проектирования может быть автоматическим, автоматизированным и неавтоматизированным. **Автоматическое проектирование** производится без участия человека на промежуточных этапах. **Автоматизированное проектирование** выполняется в процессе взаимодействия человека и компьютера. **Неавтоматизированное проектирование** осуществляется человеком без использования компьютеров. Автоматизированное проектирование реализуется посредством **системы автоматизированного проектирования (САПР)**.

Системный подход в техническом проектировании

В конкретных ситуациях проблемы часто решаются на основе **ситуативного подхода**, который опирается на опыт, интуицию, логику. Так удобно решать относительно простые тактические задачи.

Современные методы проектирования используют **системный подход**, при котором технические объекты рассматриваются как целостная совокупность (**система**) всех **элементов** и связей между ними. Состояние системы в любой момент времени определяется **параметрами**. Считается, что система имеет **цель** функционирования, состоит из подсистем (элементов). Элементы системы имеют **иерархическую связь** (элементы нижнего уровня подчинены элементам более высокого уровня).

В числе прочих принципов системного подхода можно отметить: **принцип историзма** (объект рассматривается с учетом этапов его развития до рассматриваемого момента); **принцип динамизма** (свойства объекта изменяются во времени); **принцип сходства** (при исследовании необходимо использовать результаты изучения сходных объектов). Иначе говоря, системный

подход – это еще и методология познания, основанная на представлении объектов целостной системой: инженерной, экономической, социальной и т. д.

Базируясь на системном подходе, можно выделить ряд основополагающих принципов процесса проектирования [1, 2]:

1. Структуризация процесса проектирования, выделение последовательных стадий, этапов, процедур. Структуризация отражает блочно-иерархический подход к проектированию.

2. Принцип итерационности процесса проектирования отражает возможность корректировать ранее принятые решения, устранять ошибки, допущенные на предыдущих стадиях.

3. Модульный принцип состоит в максимальном использовании однотипных узлов (модулей) при проектировании машин.

4. Принцип унификации – многократного применения в конструкциях машин одних и тех же элементов, сокращающего номенклатуру деталей и материалов.

5. Принцип преемственности позволяет совмещать новые конструктивные элементы с хорошо отработанными ранее узлами.

6. Принцип блочности (декомпозиции) предусматривает разбиение объектов на блоки, которые проектируются отдельно.

7. Принцип иерархичности предусматривает разделение объекта на иерархические уровни. Например, машины разделяют на уровни: машина, агрегат, узел, деталь. Механизмы разбивают на механизм, подузел, деталь, элемент детали. В сложных системах выделяют систему, подсистему, элемент. Предусматривают дополнительные подуровни.

Методы и технологии проектирования

Проектирование сложных объектов основано на применении принципов, использованных рядом теорий и подходов.

К основным **методам (способам) проектирования** относят: декомпозицию, абстракцию, установление иерархии (классификации). *Алгоритмическая декомпозиция* означает разделение процесса на модули, выполняющие отдельные этапы общего процесса. *Объектно-ориентированная декомпозиция* рассматривает сложные системы как упорядоченную совокупность объектов, которые в процессе взаимодействия друг с другом определяют поведение системы (граф). *Абстракция* – игнорирование второстепенных деталей сложных объектов, создающая их обобщенную, идеализированную модель.

Способами проектирования называют еще и разновидности моделирования: натурное, физическое и математическое. Натурное и физическое моделирование дают максимально достоверные результаты, но их реализация дорогостоящая и длительная. Поэтому они все более вытесняются математическим моделированием с использованием методов многовариантного проектирования и оптимизации.

Оптимальное проектирование можно разделить на два класса.

К первому классу относят задачи, в которых структура объекта считается заданной, и определяются числовые значения параметров, свойственных данной структуре. Такие задачи называют задачами *параметрической оптимизации*.

Ко второму классу принадлежат задачи, в которых предметом оптимизации являются не только параметры, но и структура объекта. Например, выбираются оптимальный тип устройства или конструкций для заданных условий. Такие задачи называют *задачами структурной (структурно-схемной) оптимизации*. Их решают методом последовательного исследования множеств или методом оптимального проектирования с автоматическим поиском схем.

Согласно методу последовательного исследования множеств, вначале на основе имеющегося опыта отбирают ограниченное число перспективных структур объекта, каждая из которых может быть описана своей совокупностью параметров. Далее последовательно проводят параметрическую оптимизацию каждой структуры (исследуют множество вариантов, реализующих данную структуру). Наконец, полученные оптимальные варианты сравнивают между собой и из них выбирают наилучший, принимая его за окончательное оптимальное решение задачи.

Методика решения задач проектирования различает два основных типа процессов проектирования: «сверху вниз» (от сложного к простому) и «снизу вверх» (от простого к сложному). При *нисходящем проектировании* (проектирование «сверху вниз») сначала решаются задачи проектирования верхних уровней, затем нижних. При *восходящем* – наоборот. Практически процесс проектирования сочетает оба способа на различных этапах. Комплекс декомпозируется на устройства, то есть, в свою очередь, на узлы, а после проектирования узлов начинается обратный процесс: «сборка» узлов в устройство, а устройство – в комплекс.

Используются *два подхода к конструированию* при использовании автоматизированного проектирования. Первый подход базируется на *двумерной геометрической модели* и использовании компьютера как электронного кульмана. Изделие представляет чертеж, содержащий информацию для изготовления. Второй подход основан на *пространственной геометрической модели* изделия, по отношению к которой чертеж играет вспомогательную роль. При первом подходе (традиционном) обмен информацией осуществляется на основе конструкторской и технологической документации; при втором – на основе внутримашинного представления объекта.

В числе **технологий проектирования** различают *сквозное проектирование*, которое обеспечивает эффективную передачу данных и результатов каждого текущего этапа проектирования сразу во все последующие этапы. При этом используются общие базы: база данных и база знаний. *Параллельное проектирование* развивает технологию сквозного проектирования, представляя всем участникам работы всю информацию о промежуточных и окончательных характеристиках изделия, начиная с самых ранних этапов проектирования. В отличие от сквозного проектирования, вся информация поступает не только на последующие этапы проектирования, но на предыдущие, т. к. все этапы начинают выполняться одновременно. В процессе

проектирования объединяются все инструментальные средства, к которым можно отнести среду управления проектированием, систему управления данными проекта и систему поддержки принятия решений.

Стадии проектирования, документация

В общем случае выделяют стадии проектирования: предпроектные исследования, техническое задание, эскизный проект, технический проект, рабочий проект, испытание, внедрение в производство. Необходимые стадии и этапы выполняемых работ обычно устанавливаются техническим заданием. При этом первые две стадии могут рассматриваться более детально с выделением стадий:

- научно-исследовательских работ (патентный поиск, разработка и согласование с заказчиком технического задания (ТЗ), теоретические и экспериментальные исследования, обобщение результатов, обсуждение и согласование задания на ОКР);

- опытно-конструкторских работ (ТЗ, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, разработка презентации).

На стадии научно-исследовательских работ (НИР) изучаются потребности в получении новых изделий, исследуются значения характеристик и параметров объектов. В результате формулируется *техническое задание* на разработку объекта. ТЗ определяет цель создания и назначение объекта, технические требования, условия работы, области применения, оценивает технический уровень и др. На основании технического задания разрабатывается *техническое предложение* – совокупность документов, отражающих технические решения, принятые в проекте, данные исследований, оценивающих целесообразность использования тех или иных решений.

На стадии опытно-конструкторских работ (ОКР) создается **эскизный проект** изделия, дающий общее представление об устройстве, принципе работы и параметрах проектируемого изделия. Проводится проверка и уточнение положений, установленных на стадии НИР.

В *техническом проекте* разрабатывается документация, дающая более полное представление об устройстве, компоновке, наличии узлов, проводятся все необходимые расчеты (динамические, прочностные, тепловые и т. д.).

Рабочий проект содержит полный комплект разработанной конструкторско-технологической документации, достаточный для изготовления объекта и др.

Часть проектирования, заканчивающаяся получением проектного решения, называется **проектной процедурой**. Выполнение одной или нескольких проектных процедур, объединенных по признаку принадлежности получаемых проектных решений к одному иерархическому уровню и (или) аспекту описаний, составляет **этап проектирования**.

При выполнении работ может быть выявлена необходимость корректировки технического задания. В этом случае чередуются процедуры внешнего и внутреннего проектирования. Под *внешним проектированием*

понимаются процедуры формирования или корректировки технического задания, под *внутренним проектированием* – процедуры реализации сформированного технического задания.

1.2. Компьютерные технологии проектирования

Традиционные технологии выполнения больших проектов сложны в реализации. В частности, приходится выпускать огромное количество бумажных документов, и в них трудно искать необходимую для работы информацию. Соответственно растет трудоемкость проектирования и его продолжительность.

Многих проблем можно избежать, если в процессе проектирования иметь в наличии полную модель изделия в электронном виде, которая содержит всю информацию, необходимую на всех этапах проектирования и дальнейшего использования изделий. Поэтому в сфере военной промышленности западных стран возникло новое направление развития информационных технологий, названное CALS (Continuous Acquisition Lifecycle Support). Под этим названием понимается обеспечение непрерывной информационной поддержки в течение всего жизненного цикла изделия.

Жизненный цикл изделий производства можно представить схематически (рис. 1.1). Схема показывает, что этапы «рождения», «жизни» и «смерти» изделия взаимосвязаны. На всех стадиях возможно применение автоматизированных систем, позволяющих оптимально решать возникающие проблемы, объединять всех поставщиков, соисполнителей и участников процессов проектирования, производства и обслуживания изделия.

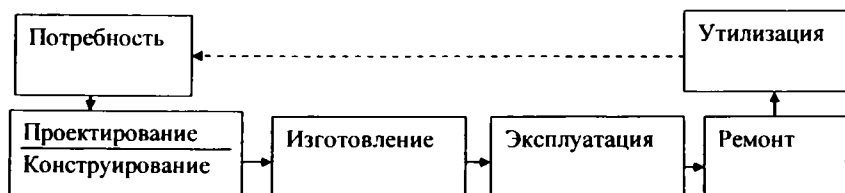


Рис. 1.1. Жизненный цикл изделий

Проектная часть жизненного цикла и CALS-технологий включает: CAD (Computer-aided design) – систему автоматизированного проектирования – программный пакет, предназначенный для создания чертежей, 3D-моделей и документации;

CAE (Computer-aided engineering) – систему программных средств для инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов;

CAM (Computer-aided manufacturing) – систему компьютерной поддержки изготовления изделий.

Система расчетов и инженерного анализа CAE и система конструкторского проектирования CAD часто используются вместе и образуют гибридные CAD/CAE-системы.

Функционал современных систем проектирования:

1. CAD-системы обеспечивают 2D-черчение; твердотельное, поверхностное и каркасное объемное моделирование; создание сборок; фотореалистическое отображение; конструирование из листовых материалов;

2. САМ-системы обеспечивают подготовку управляющих программ для оборудования с ЧПУ; генерирование постпроцессоров для различных систем ЧПУ и контроллеров.

3. CAE-системы обеспечивают все виды инженерного анализа: механического, прочностного, теплофизического, пластического и др., осуществляют симуляцию физических процессов, определяют работоспособность изделий, поведение в условиях эксплуатации. В них вычислительный процесс основан на численных методах решения дифференциальных уравнений: конечных элементов, конечных объемов, конечных разностей и др.

Имеются различные классификации универсальных САПР. В их числе могут выделяться:

- **Машиностроительные.**
- **Изделия микроэлектроники.**
- **Электротехнические.**
- **Архитектурные.**

Оборудование промышленных установок и сооружений – создание принципиальных схем установок, пространственная разводка трубопроводов и кабельных трасс, проектирование систем отопления, водоснабжения, канализации, электроснабжения, вентиляции и кондиционирования, ведение баз данных оборудования, трубопроводной арматуры, готовых электротехнических изделий.

Геоинформационные системы – оцифровка данных полевой съемки, анализ геодезических сетей, построение цифровой модели рельефа, создание в векторной форме карт и планов, ведение электронного картографического архива.

Специализированные системы. Следует отметить, что за рубежом термином САПР обычно обозначают только CAD-систему проектирования.

1.3. Системы автоматизированного проектирования в технике

Системы автоматизированного проектирования условно делят на классы.

Системы тяжелого класса, которые предоставляют полный набор интегрированных средств проектирования, производства, анализа изделий. Системы обеспечивают возможность одновременной работы с электронной моделью изделия всех участников проекта.

К тяжелому классу относят пакеты CATIA, NX Unigraphics, Pro/ENGINEER, ANSYS, EUCLID, Adams. Такие САПР позволяют

моделировать объекты в реальном масштабе времени, выполнять оптимизирующие расчеты конструкции и режимов эксплуатации, анализировать движение среды, горение, рассчитывать температурные поля, теплообмен, массообмен и т. д. Иначе говоря, системы тяжелого класса решают широкий спектр конструкторско-технологических задач, и им доступно много дополнительных функций. Например, может выполняться проектирование массивных сборок, требующих тщательной компоновки и содержащих элементы инфраструктуры (кабельные жгуты, трубопроводы), работа со сложными сборками в режиме вариантного анализа для быстрого просмотра и оценки качества компоновки изделия.

К сожалению, тяжелые САПР громоздки и сложны в работе, имеют большую стоимость. Вряд ли их целесообразно использовать для выполнения относительно простых работ по подготовке конструкторской документации. Поэтому у специалистов бытует мнение, что количество рабочих мест САПР верхнего уровня должно составлять приблизительно 5–10 % от общего количества рабочих мест САПР.

Системы среднего класса занимают промежуточное положение между тяжелыми и легкими САПР. Они позволяют выполнять 90 % всех функций тяжелых систем, но по стоимости близки к легким. Большинство систем основывается на трехмерном твердотельном моделировании. Они позволяют проектировать большинство деталей, сборочные единицы среднего уровня сложности, выполнять совместную работу группам конструкторов. К среднему классу относят пакеты SolidWorks, SolidEdge, Inventor, T-FLEX CAD, «КОМПАС-3D», AutoCAD, ADEM, Autodesk mechanical desktop и др. Очень важно то, что в списке присутствует ряд отечественных пакетов. Необходимость их разработки и совершенствования очевидна для ускорения технического развития, а еще и для борьбы с завышением стоимости зарубежных систем проектирования. На рис. 1.2 и 1.3 показаны фрагменты 3D-моделей проектируемых технических объектов, выполненных в САПР «КОМПАС-3D»¹.

В Интернете конструкторы активно анализируют сравнительные достоинства и недостатки пакетов. Часто отмечают практически одинаково высокий уровень и возможности пакетов SolidWorks и Inventor. Inventor критикуется за ориентацию преимущественно на машиностроение, отмечается слабость 2D-части программы и то, что практически весь набор дополнительных утилит представлен только в 3D-части программы. Отмечается, что недостаток в 2D полностью компенсируется AutoCAD Mechanical.

¹ На рисунках показаны изображения главных окон САПР в процессе 3D-моделирования технических объектов. Материалы взяты из рекламных материалов торгующих организаций, размещенных в открытом доступе в Интернете.

У пакета «КОМПАС-3D» отмечается легкость освоения, соответствие стандартам ЕСКД, обилие библиотек. Многие конструкторы считают пакет лучшим для 2D-черчения, одобряют его более низкую цену, но критикуют слабость в 3D-моделировании по сравнению с SolidWorks и Inventor. Иногда достоинства одних пакетов и возможности других объединяют и делают, например, 3D-модели в SolidWorks, а рабочие чертежи по ним в «КОМПАС». Пример выполнения 3D-модели технического устройства в программе SolidWorks показан на рис. 1.4.

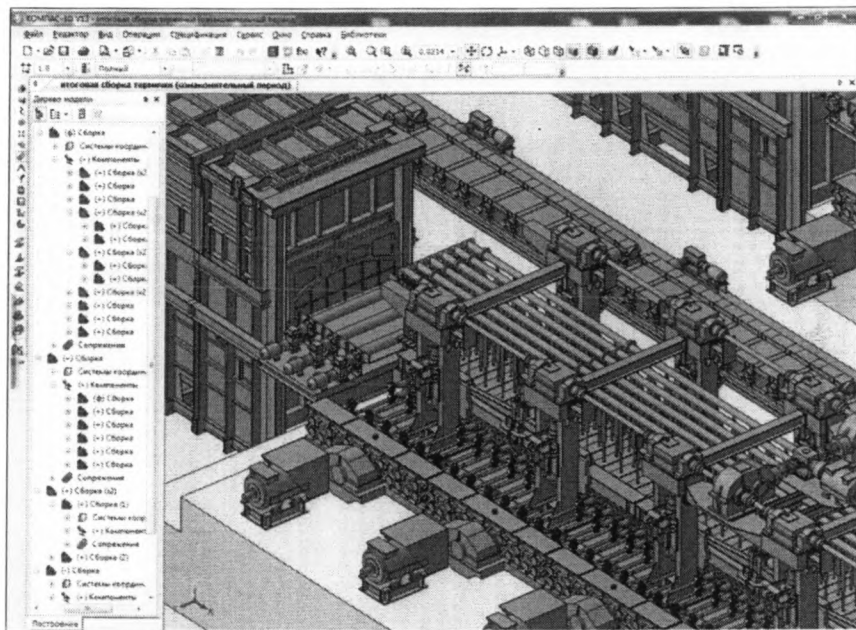


Рис. 1.2. Фрагмент из проекта участка листопркатного цеха № 2, выполненного организацией «Уральская сталь» в «КОМПАС-3D». Всего деталей – 35 850, стандартных изделий – 1 000, дополнительно используется ПО Artisan Rendering

В Интернете часто встречаются положительные отзывы о пакете T-FLEX CAD. Особенно этот пакет хвалят за удобство работы при параметрическом конструировании. У тяжелых систем часто критикуют сложность освоения. Например, один из субъективных отзывов: «Pro/ENGINEER – мощнейшее оружие в руках спеца, имеет намного больше возможностей, чем SolidWorks. Но сложен в понимании и трудоемок (кнопок

надо нажать в два-три раза больше, чем в Солиде, для выполнения тех же действий)»).

Отмеченные выше суждения быстро устаревают, т. к. многие пакеты САПР постоянно совершенствуются, и при их выборе приходится анализировать еще и перспективы развития, заявляемые разработчиками.

1.4. Системы инженерного анализа

При проектировании тепловых устройств необходим инженерный анализ гидрогазодинамических процессов и тепломассопереноса. Для этих целей в России часто применяют коммерческие пакеты: ANSYS Multiphysics, ANSYS CFX, ANSYS Fluent, STAR-CD/STAR-CCM+, FlowVision и Gas Dynamics Tool [3].

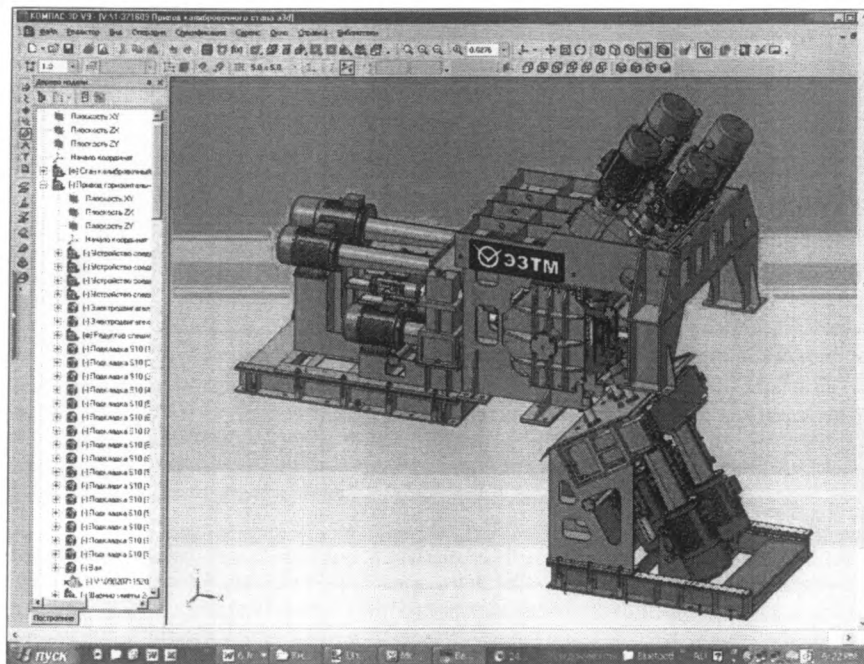


Рис. 1.3. Проект в КОМПАС-3D калибровочного стана из 10 534 деталей

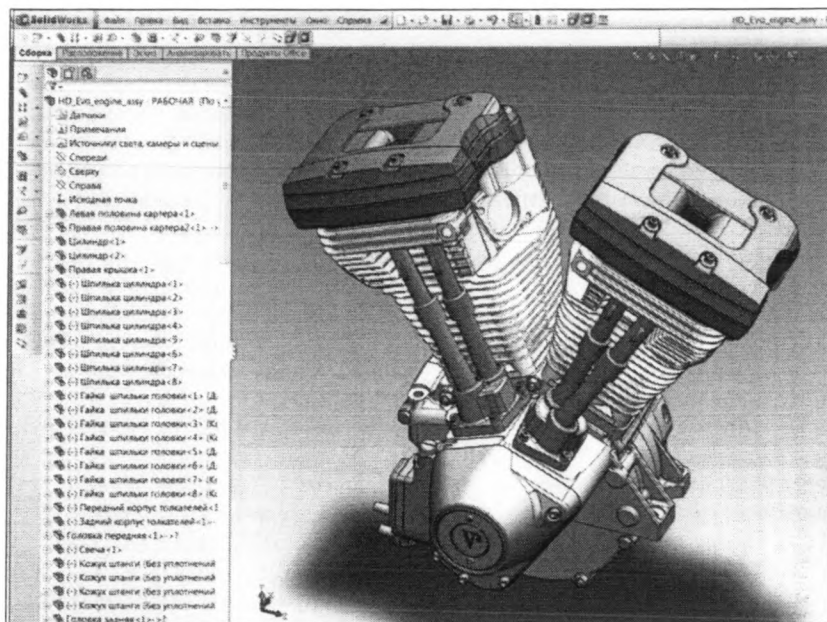


Рис. 1.4. Модель двигателя мотоцикла в SolidWorks

По уровню полноты моделирования физических процессов и проработанности математических моделей в этой группе пакетов ANSYS и STAR-CD относят к так называемым пакетам тяжелого класса. Это коммерческие профессиональные CFD-комплексы для решения широкого спектра задач механики сплошных сред и теплообмена. Моделирование процессов, протекающих в жидких и газообразных средах, в пакетах осуществляется на основе численного решения полных трехмерных нестационарных уравнений Навье – Стокса. Пакеты обеспечивают возможность анализа течений вязкой ньютоновской и неньютоновской жидкости и газа в широком диапазоне скоростей от ползучих до гиперзвуковых течений при ламинарном и турбулентном режимах. Для замыкания осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса при моделировании турбулентных течений используется значительное число полуэмпирических моделей турбулентности. Разностные схемы в пакетах реализованы на основе метода конечного объема.

При анализе высокотемпературных процессов в агрегатах существенна способность данных пакетов описывать радиационный теплоперенос с использованием нескольких методов решения уравнения переноса: метода Росселанда, метода π_1 , метода Discrete Transfer или метода Монте-Карло. Возможности пакетов расширяет пользовательское программирование. Для учета сопутствующих физических и химических процессов в пакеты включены

модели многокомпонентных течений; химических реакций с учетом химической кинетики, в том числе и реакций горения; многофазных течений и др.

К пакетам среднего класса можно отнести FlowVision, пакеты симуляции процессов в САПР SolisWorks и Inventor. Эти пакеты менее универсальны, чем пакеты первой группы, с меньшей полнотой описывают теплофизические процессы и совершенно неудовлетворительно моделируют перенос тепловой радиации.

Flow Vision разрабатывается и поддерживается российской компанией «ТЕСИС» (г. Москва). Он позволяет анализировать процессы теплопереноса и диффузии в твердом теле, может быть использован при решении задач сопряженного теплообмена между твердым телом и жидкостью. В пакет встроены модель течения с поверхностью раздела сред и модели горения, а также модель течения в пористых средах и модель многофазных сред. Вероятно, благодаря значительному числу используемых моделей, пакет может использоваться при решении широкого круга задач.

Другой отечественный пакет, Gas Dynamics Tool (GDT), разрабатываемый и поддерживаемый компанией GDT Software Group (г. Тула) может использоваться для численного моделирования нестационарных ударно-волновых газодинамических процессов, включая горение и детонацию.

Значительными функциональными возможностями обладает пакет OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation), который содержит свободно распространяемый инструментарий вычислительной гидродинамики для операций со скалярными и векторными полями. Код OpenFOAM разработан в Великобритании в компании OpenCFD Limited и используется многими промышленными предприятиями. Программа позволяет решать многие задачи: прочностные; моделировать гидродинамику ньютоновских и неньютоновских вязких жидкостей как в несжимаемом, так и в сжимаемом приближении с учетом конвективного теплообмена и действием сил гравитации; моделировать турбулентные течения, дозвуковые, околосзвуковые и сверхзвуковые задачи; задачи теплопроводности в твердом теле; многофазные задачи, в том числе с описанием химических реакций компонент потока; сопряженные задачи и др.

В настоящее время объем применения CAE-технологий проектирования сдерживается недостаточной квалификацией инженеров. Специалисты не имеют опыта тестирования решаемых задач, слабо разбираются в деталях используемых расчетных методик и физических моделей, воспринимают решения задач как «процесс нажатия кнопок» и выбора опций программы. Поэтому производственники часто обоснованно сомневаются в достоверности получаемых результатов моделирования. Из сказанного следует важность задач, стоящих перед учреждениями высшего образования.

Тем не менее число проектов, обязанных своим успехом применению CAE, постоянно растет. Уже сейчас около 25 % инвестиций в средства управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management, PLM) приходится на долю CAE-программ. И эта часть будет увеличиваться, т. к. по темпу годового роста сегмент инженерного анализа опережает рынок PLM в целом.

Глава 2

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ «КОМПАС-3D»

2.1. Интерфейс программы «КОМПАС-График»

Многие элементы управления программы «КОМПАС-3D» характерны для приложений операционной системы Windows, поэтому их часто называют «интуитивно понятными». На рис. 2.1 показано главное окно системы². Описание программы выполняется по [4, 5, 6, 7] и другим материалам фирмы АСКОН, представленным в открытом доступе Интернете.

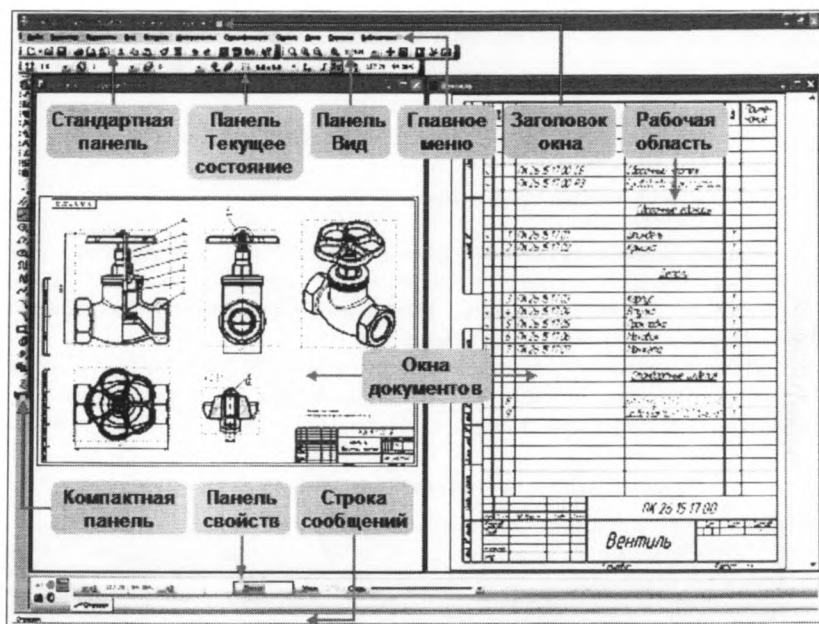


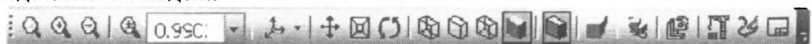
Рис. 2.1 Главное окно системы «КОМПАС-График»*

Главное окно содержит **Стандартную панель** с кнопками вызова команд операций с файлами и объектами

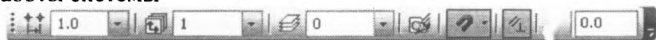


² Здесь и в отдельных случаях далее используются учебные материалы фирмы АСКОН [4]. Такие материалы отмечаются знаком * в названии рисунка.

Панель **Вид** содержит кнопки, управляющие изображением, которые изменяют масштаб, перемещают и вращают изображение, изменяют форму представления модели



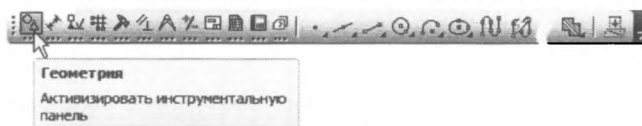
Панель **Текущее состояние** содержит средства управления курсором, слоями, привязками и т. д. Состав панели может меняться в зависимости от режима работы системы



Компактная модель* содержит **Панель переключения** и **Инструментальные панели**. Каждой кнопке на Панели переключения соответствует одноименная инструментальная панель.

Панель переключения

Инструментальная панель
Геометрия



Кроме инструментальной панели **Геометрия**, содержащей команды построения геометрических элементов, используются панели: **Размеры**, **Обозначения**, **Редактирование**, **Измерения**, **Выделение**, **Ассоциативные виды**, **Параметризация**, **Обозначения для ПСП**.

Панель свойств* управляет процессом выполнения команды. Содержит, в частности, **Панель специального управления**. В нижней части окна расположена **Строка сообщений**, в которой появляются сообщения и запросы системы.



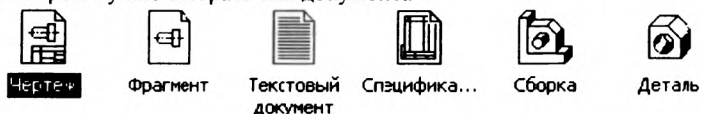
При выделении объектов документа на экране появляется **Контекстная панель**, которая содержит наборы кнопок вызова часто используемых команд редактирования. После щелчка правой кнопкой мыши (ПКМ)³ в поле документа появляется **Контекстное меню**, содержащее доступные в данный момент команды

³ Здесь и далее используются обозначения: ЛКМ – левая кнопка мыши; ПКМ – правая кнопка мыши.



Типы документов в «КОМПАС-3D».

При создании нового документа в рабочей области появляется окно, в котором нужно выбрать тип документа



Чертеж – основной тип документа. Содержит графическое изображение изделия, основную надпись, рамку, может содержать один лист или несколько, схемы, плакаты и т. д. Файлы чертежа имеют расширение **cdw**.

Фрагмент – вспомогательный тип документа. Отличается от чертежа отсутствием рамки, основной надписи и др. В нем хранят то, что не надо оформлять отдельным листом: эскизы, варианты отдельных узлов и т. д. Файл имеет расширение **frw**.

Текстовый документ – содержит преимущественно текстовую информацию, в него можно вставить фрагменты, рисунки, таблицы... Документ имеет рамку и основную надпись, одну и более страниц. Файл имеет расширение **kdw**.

Спецификация – документ в виде таблицы с информацией о составе сборки, файл имеет расширение **spw**.

Сборка – модель изделия, состоящего из нескольких деталей. Файл имеет расширение **a3d**.

Деталь – трехмерная модель изделия. Файл имеет расширение **m3d**.

2.2. Работа в «КОМПАС-График» при выполнении чертежа «Прокладка»

2.2.1. Создание и сохранение чертежа

Упражнение 2.1. Работа над чертежом «Прокладка».

Создание новой детали начинается с выполнения последовательности команд главного меню:

ФАЙЛ → **СОЗДАТЬ**⁴ → во вкладке **Новый документ** выбрать тип документа **Чертеж** (рис. 2.2) → нажать кнопку **ОК** в нижней части вкладки. Появится главное окно системы (рис. 2.1), в окне документов которого размещен новый чертеж с параметрами, заданными по умолчанию: формат **A4**, вертикальная ориентация, стиль оформления **Чертеж конструкторский**. **Первый лист**.

⁴ Здесь и далее последовательность действий, которые должен выполнить конструктор, выделена чертой слева в строках с полужирным шрифтом и курсивом.

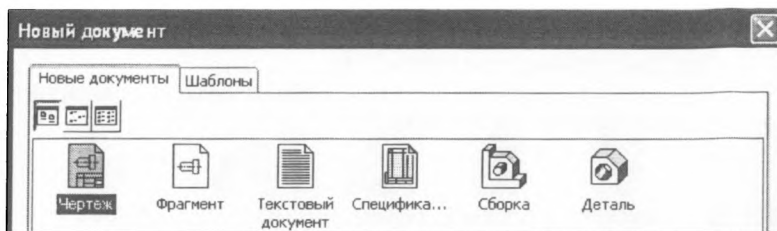



Рис. 2.2. Вкладка **Новый документ** с опциями выбора типа документа

Желательно сразу сохранить документ и дать ему имя.

ФАЙЛ → **Сохранить как** → в окне сохранения документа ввести имя чертежа **Прокладка** → нажать **Сохранить** → появится окно **Информация о документе**, нажать **ОК**.

2.2.2. Изменение параметров чертежа

Задать листу чертежа формат A3 и горизонтальную ориентацию.

Панель Стандартная, кнопка  **Менеджер документа** →. На экране появится окно **Менеджер документа** (рис. 2.3).

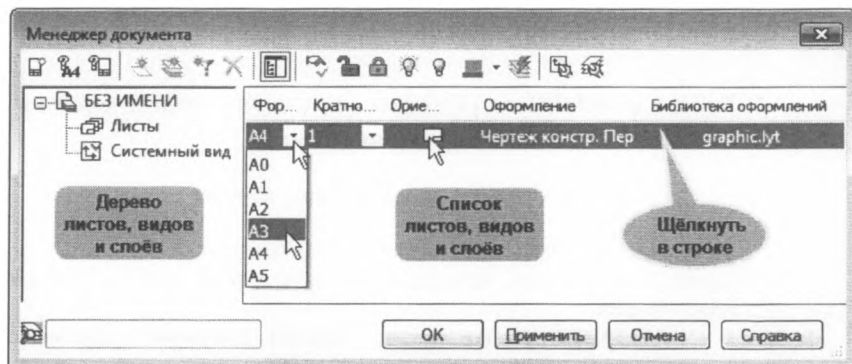


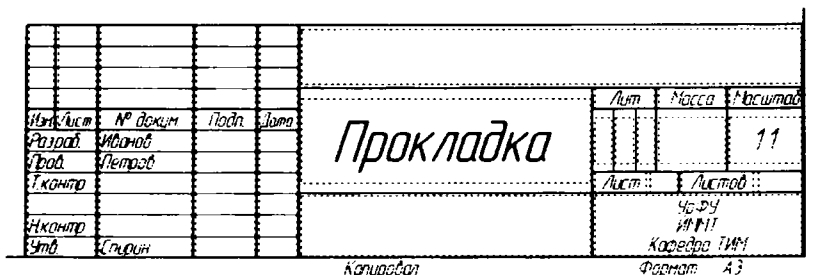
Рис. 2.3. Окно **Менеджер документа***

→ открыть список форматов, указать **A3** → щелчок по пиктограмме **Ориентация** → **ОК**.

Лист получит требуемый формат и ориентацию.

Для более значительного изменения настроек чертежа выполнить: **СЕРВИС → Параметры...**

Для активации основной надписи выполнить команду **ВСТАВКА** → **Основная надпись** или сделать двойной щелчок ЛКМ в поле основной надписи, или там же вызвать контекстное меню щелчком ПКМ → **Заполнить основную надпись**.



компоновать чертежи, перемещая, масштабируя, поворачивая каждый вид как отдельный объект. При выполнении команд **Линия разреза**, **Выносной элемент**, **Стрелка взгляда** виды создаются автоматически и связываются с исходным объектом. Перед редактированием вида его нужно сделать текущим, выполнив команды: **СЕРВИС** → **Менеджер документа** → кнопка **Состояние видов** → в панели **Текущее состояние** указать или ввести номер или название нужного вида, и он станет текущим. Вид можно сделать текущим двойным щелчком ЛКМ.

При создании чертежей детали по ее трехмерной модели создаются *ассоциативные виды*. Последовательность действий рассмотрена в главе 3.

В «КОМПАС-График» конструктор всегда работает с реальными размерами объектов, а размер на чертеже определяет программа.

Продолжение упражнения 2.1.

Создать простой вид с масштабом 2:1. Указать точку привязки вида, то есть ввести локальную систему координат (ЛСК).

ВСТАВКА → **Вид** → в панели свойств раскрыть окно **Масштаб вида**; указать масштаб 2:1 → указать приблизительно центр левой половины поля чертежа, ЛКМ.

На чертеже появилось изображение пересекающихся осей *Y* и *X*.

У каждого чертежа есть **абсолютная система координат** с началом в левом нижнем углу формата. Можно задавать **локальные системы координат (ЛСК)**, помещая начало координат в удобную точку поля чертежа. Вставить ЛСК можно отдельной командой: **ВСТАВКА** → \uparrow **Локальная СК** или кнопкой \uparrow **Локальная СК** на панели **Текущее состояние**.

2.2.5. Вычерчивание изображения прокладки

Геометрическое изображение можно представить как совокупность геометрических примитивов: отрезков прямых, окружностей, дуг, прямоугольников и т. д. В графических редакторах используются специальные команды построения примитивов: **отрезок**, **окружность**, **эллипс**, **дуга**, **фаска**. Есть команды, управляющие способом построений, например, **непрерывный ввод объектов**. Некоторые из этих команд будут использованы при вычерчивании прокладки, некоторые – при дальнейшем изложении, отдельные команды можно рассмотреть самостоятельно, вызывая **справку** в панелях свойств этих команд.

Продолжение упражнения 2.1. Построить изображение прокладки.

Сначала строится окружность диаметром 30 мм.

ИНСТРУМЕНТЫ (в Главном меню) → **Геометрия** → **Окружности** → **Окружность** → указать курсором начало координат; нажать ЛКМ → в панели свойств ввести: диаметр 30; стиль основная → Enter → Stop.
В поле чертежа появится окружность с осями координат в центре (рис. 2.5, а).

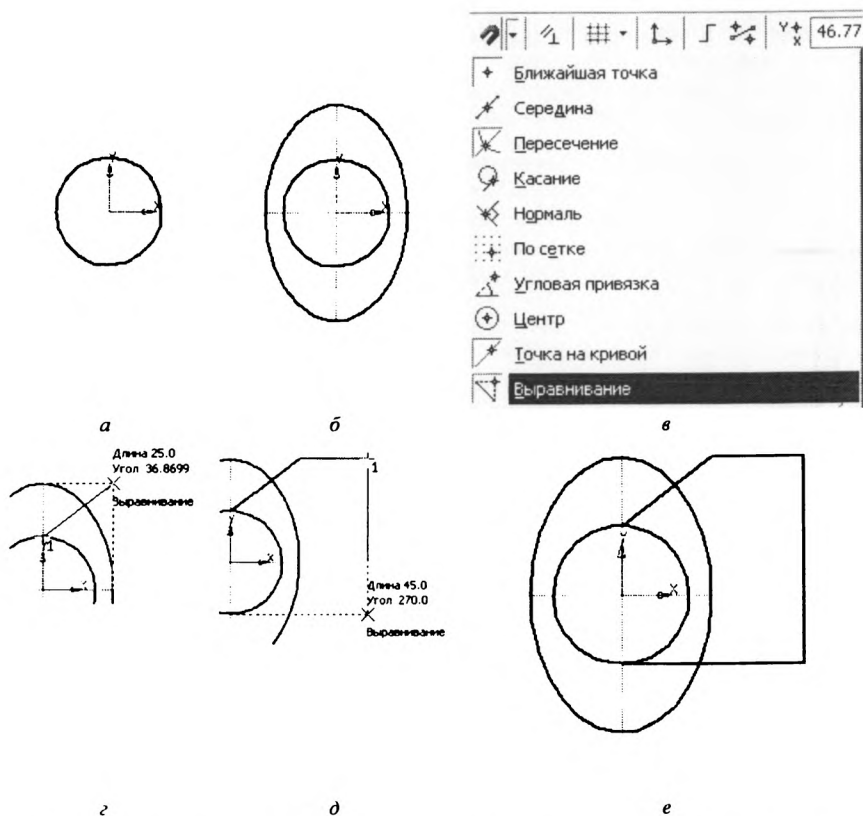



Рис. 2.5. Построение изображения прокладки: а – построена окружность; б – добавлен эллипс; в – в панели задаются глобальные привязки; г – задается точка на пересечении линий привязки *выравнивание*; д – указание конечной точки отрезка в трапеции; е – половина прокладки построена

Построить эллипс с размерами: по горизонтальной оси 20 мм, по вертикальной оси 30 мм.


ИНСТРУМЕНТЫ → **Геометрия** → **Эллипсы** → **Эллипс** → указать центр эллипса в начале координат; нажать ЛКМ → в панели свойств ввести: длина1 20; длина2 30; угол 0; С осями; стиль Основная →  Создать объект → Stop.


В поле чертежа появится эллипс с осями (рис. 2.5, б).

Убедиться, что включены, или включить привязки:

панель Текущее состояние → раскрыть окно Привязки → включить привязки: Ближайшая точка, Пересечение, Выравнивание (рис. 2.5, в).

Построить незамкнутую трапецию с вертикальными размерами, соответствующими размерам окружности и эллипса, и горизонтальными координатами 0; 20; 40.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Геометрия** →  Непрерывный ввод объектов → в панели свойств: в ряде обозначений примитивов нажать Отрезок → указать как начальную точку верхнюю точку окружности (при подведении курсора появился крест и надпись Ближайшая точка); нажать ЛКМ → указать следующую точку на пересечении пунктирных линий, созданных привязкой

Выравнивание (рис. 2.5, г) → включить режим  Ортогональное черчение (отрезки могут быть только вертикальны или горизонтальны) → в окне Длина панели свойств ввести 20; курсор перевести вправо от конечной точки, ЛКМ → курсор перевести вниз от точки ввода на пересечение пунктиров линий выравнивания (рис. 2.5, д); ЛКМ → курсор перевести влево в нижнюю точку окружности; ЛКМ → Stop.

Построенная фигура показана на рис. 2.5, е.

Отредактировать чертеж. Удалить лишние линии: часть эллипса внутри трапеции, затем участки отрезков трапеции.

РЕДАКТОР → Удалить → Часть кривой → курсором указать верхнюю удаляемую часть эллипса; ЛКМ; указать нижнюю удаляемую часть эллипса; ЛКМ → указать отрезок трапеции между эллипсом и окружностью верхний, ЛКМ; нижний отрезок; ЛКМ → Stop.

Построена левая часть прокладки, показанная на рис. 2.6, а.

К существующей левой части прокладки достроить симметричную ей правую часть. Для выполнения операции нужно построить осевую линию, которая будет осью симметричного отображения. В данном чертеже осью является правый вертикальный отрезок, у него тип линии основная должен быть изменен на осевая.

Указать курсором правый отрезок; двойной щелчок ЛКМ → в панели свойств: стиль Осевая →  Создать объект.

Правый отрезок стал штрих-пунктирным.

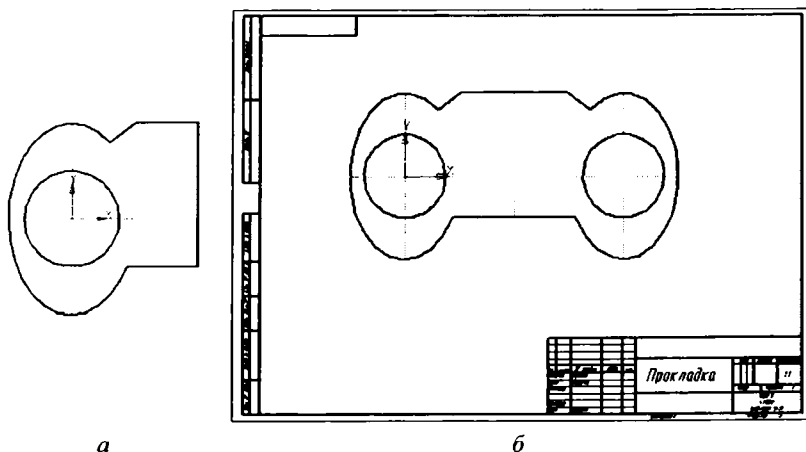


Рис. 2.6. Завершение работы над изображением прокладки: *а* – построена левая часть прокладки; *б* – изображение после применения команды *симметрия*

Достроить симметричную часть.

Выделить фигуру: курсор поместить правее и ниже ее, нажать ЛКМ и не отпуская клавишу переместить курсор в левый верхний угол фигуры → **РЕДАКТОР** → **Симметрия** → указать верхнюю точку осевой линии, ЛКМ, затем нижнюю, ЛКМ → в панели свойств указать режим **Оставлять исходные объекты** → **Stop**.

Щелкнуть ЛКМ в поле чертежа для снятия выделения (рис. 2.6, б).

2.2.6. Простановка размеров

Команды простановки размеров содержатся в меню **Инструменты**.

Проставить линейный размер верхнего среднего отрезка.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Размеры** → **Линейные** → **Линейный размер** → в панели свойств: указать щелчком ЛКМ как точку привязки размера сначала левую границу отрезка, затем правую; тип **Горизонтальный** → перемещая размерную линию у размера фантома, зафиксировать ее на расстоянии от контура не менее 10 мм (с учетом масштаба чертежа 5 мм); ЛКМ → перемещать при нажатой ЛКМ точку привязки размера, выбрать положение размера. ЛКМ → щелчок в поле чертежа ЛКМ для снятия выделения → **Stop**.
Полученный размер на рис. 2.7, а.

Проставить диаметальный размер отверстий.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Размеры** → **Диаметральный размер** → щелчок ЛКМ в поле **Текст**; в появившемся диалоге ввести: текст до **20тв.**, символ **Ø** отмечен; значение **Авто** (рис. 2.7, б); **ОК** → указать курсором левую окружность; ЛКМ → указать положение размера за пределами контура; ЛКМ → **Stop**.

На полке линии-выноски указать толщину прокладки 5 мм.
ИНСТРУМЕНТЫ → **Обозначения** → **Линия-выноска** → Раскрыть вкладку **Параметры**; указать: стрелка **Вспомогательная точка**; полка **Влево** → отключить (нажать кнопку) **Привязки** в панели **Текущее состояние** → **Обозначения** → **Линия-выноска** → указать точку начала линии, указать точку начала полки; ЛКМ в поле **Текст**; ввести S3,0; **OK** → **Создать объект** → **Stop**.

Окружность с проставленными размерами показана на рис. 2.7, в.

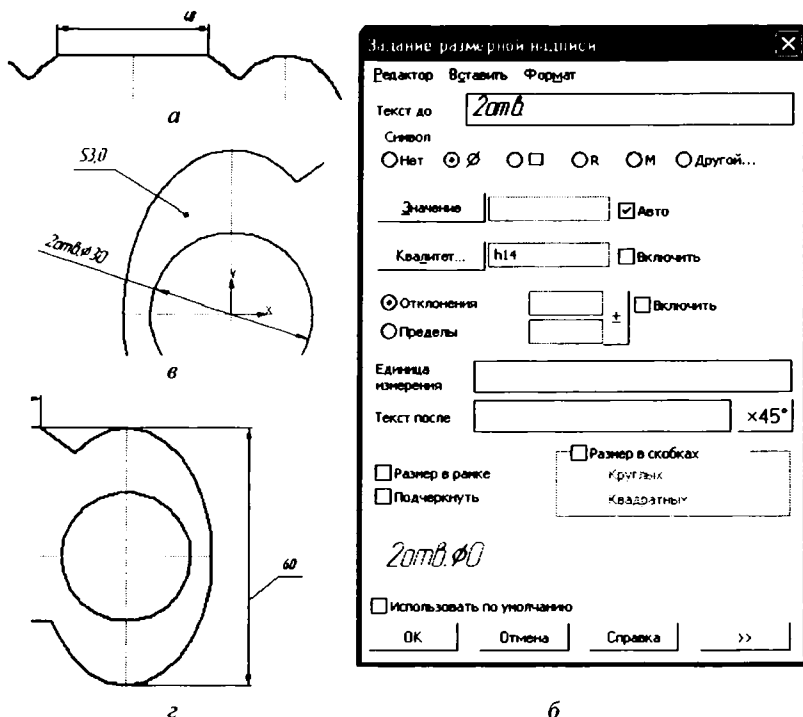


Рис. 2.7. Проставка размеров прокладки: а – линейный размер; б – окно диалогов для задания размеров; в – диаметальный размер; z – вертикальный размер на полке

Указать вертикальный размер, поставленный на полке.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Размеры** → **Линейные** → **Линейный размер** → в панели свойств: **тип Вертикальный**; раскрыть окно **Параметры**; размещение размерной надписи **На полке вверх** → указать правую границу верхнего отрезка, ЛКМ; указать нижнюю точку эллипса; указать начало линии-выноски; указать начало полки, ЛКМ → **Stop**.

Проставленный вертикальный размер показан на рис. 2.7, z.

Остальные размеры прокладки проставить самостоятельно.

2.2.7. Ввод технических требований

Выполнить команды:

ВСТАВКА → Технические требования → Ввод →.

Система перейдет в режим текстового редактора. Технические требования можно вводить, используя обычные средства редактирования текста.

Можно вставлять фрагменты текста из имеющихся текстовых шаблонов.

→ Щелкнуть ПКМ, появится Контекстное меню → Вставить текст → в окне Текстовые шаблоны открыть раздел Технические требования → выбирать пункты шаблона Общие ТТ или других шаблонов → двойным щелчком ЛКМ вставлять тексты в документ (рис. 2.8, а) →.

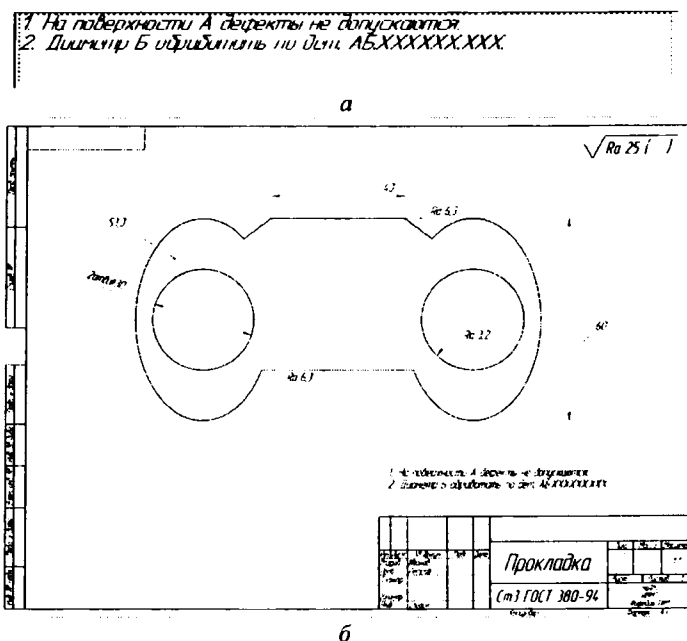


Рис. 2.8. Иллюстрация к вводу технических условий (а) и незавершенный чертеж прокладки (б)

Отредактировать текст, при необходимости ввести иные технические требования

→ Заккрыть окно (ЛКМ по знаку x справа вверху) → Да (сохранить изменения...).

2.2.8. Задание материала изделия

Заполнение графы **Материал** основной надписи из **Файла текстовых шаблонов**.

→ дважды щелкнуть ЛКМ в графе **Материал** основной надписи, активировать ее для ввода текста; щелчок ПКМ появится **Контекстное меню** → **Вставить текст** → в окне **Текстовые шаблоны** открыть раздел **Материалы** → подразделы **Черные металлы** – **Стали общего назначения** → двойной щелчок по строке **Сталь 3 ГОСТ 380-94** → **Создать объект**.

Обозначение передается в основную надпись, которая будет закрыта.

Полученный чертеж прокладки показан на рис. 2.8, б. Работа над оформлением чертежа должна быть продолжена.

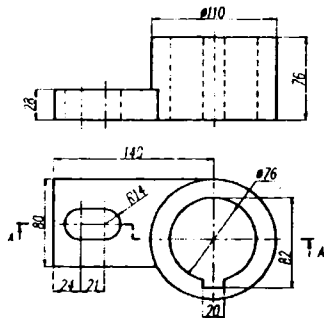
Заполнить графу **Материал** можно иначе, если использовать **Библиотеку Материалы и Сортаменты**. Для этого после активации режима заполнения основной надписи:

дважды щелкнуть ЛКМ в графе **Материал** → выполнить команду **Выбрать материал** → кнопка **Больше** в окне → откроется окно **Библиотека Материалы и Сортаменты** → и т. д.

Подробнее смотрите «Азбуку КОМПАС» в разделе программы *Справка*.

2.3. Сложные разрезы в чертеже детали «Основание»

По двум изображениям (рис. 2.9) построить чертеж в трех проекциях на листе формата А3 в масштабе 1:1. Указанный сложный разрез выполнить на месте соответствующего вида. Для изображения шпоночного паза использовать местный разрез.



2.3.1. Подготовка чертежа

Упражнение 2.2. Работа над чертежом «Основание».

Создание чертежа новой детали начинается с выполнения последовательностей команд, рассмотренных в предыдущем разделе.

ФАЙЛ → **СОЗДАТЬ** → во вкладке **Новый документ** выбрать тип документа **Чертеж** → **ОК**.

Сохранить документ.

ФАЙЛ → **Сохранить как** → ввести имя чертежа **Основание** → **Сохранить** → **ОК**.

Рис. 2.9. Задание на выполнение учебного примера по теме: «Сложные разрезы»

проходящих по всем основным размерам детали. Затем по сетке строится контур детали линией основной толщины и вспомогательные линии удаляются.

Считается, что начало координат расположено на оси цилиндрической части заготовки в ее нижней плоскости ($X = 0$; $Y = 0$). Необходимо провести вертикальные вспомогательные прямые на отметках $X = -140$; -130 ; -116 ; -85 ; -71 ; -55 ; -38 ; -10 ; 0 ; 10 ; 38 ; 55 ; 90 ; 130 ; 145 ; 170 ; 183 ; 189 ; 200 . Горизонтальные вспомогательные прямые провести на отметках $Y = -150$; -139 ; -133 ; -120 ; -95 ; -80 ; -57 ; -40 ; 0 ; 28 ; 76 .

Убедиться, что включена, или включить глобальную привязку **По сетке**.

панель Текущее состояние → раскрыть окно **Привязки** → включить привязку **По сетке** →.

Построить вертикальные вспомогательные прямые.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Геометрия** → **Вспомогательные прямые** → **Вертикальная прямая** → ЛКМ по началу координат → в панели свойств ввести $X = -140$; **Enter** (появится прямая с координатой $X = -140$) → повторить действия для ввода координат: $X = -130$; -116 ; -85 ; -71 ; -55 ; -38 ; -10 ; 10 ; 38 ; 55 ; 90 ; 130 ; 145 ; 170 ; 183 ; 189 ; 200 → **Stop** (фрагмент поля чертежа на рис. 2.11, а).

Построить горизонтальные вспомогательные прямые.


ИНСТРУМЕНТЫ → **Геометрия** → **Вспомогательные прямые** → **Горизонтальная прямая** → ЛКМ по началу координат → в панели свойств ввести $Y = -150$; **Enter** (появится прямая с координатой $Y = -150$) → повторить действия для ввода координат: $Y = -139$; -133 ; -95 ; -80 ; -57 ; -40 ; 28 ; 76 → **Stop** (фрагмент поля чертежа на рис. 2.11, б).

Построить окружности $\varnothing 110$ и $\varnothing 76$.

ИНСТРУМЕНТЫ (в Главном меню) → **Геометрия** → **Окружности** → **Окружность** → указать курсором начало координат; нажать ЛКМ → в панели свойств ввести: диаметр 110 ; стиль основная; С осями; **Enter** → указать тот же центр для второй окружности и диаметр 76 ; **Enter** → **Stop**.

Построение чертежа продолжать, даже если его расположение окажется неудачным (рис. 2.11, в). Потом построенные изображения легко передвинуть в режиме редактора.

Построить отрезками прямых контуры детали на основных видах.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Геометрия** →  **Непрерывный ввод объектов** → в панели свойств: указать примитив **Отрезок**; начальная точка верхняя точка окружности на виде сверху (при подведении курсора появится перекрестие и надпись **Ближайшая точка**), ЛКМ → по привязке **Пересечение** указать нажатием ЛКМ следующие точки контура → **Stop** → аналогичными действиями в режиме **Непрерывный ввод объектов** построить внешние контуры на виде спереди и на виде слева (рис. 2.11, г).

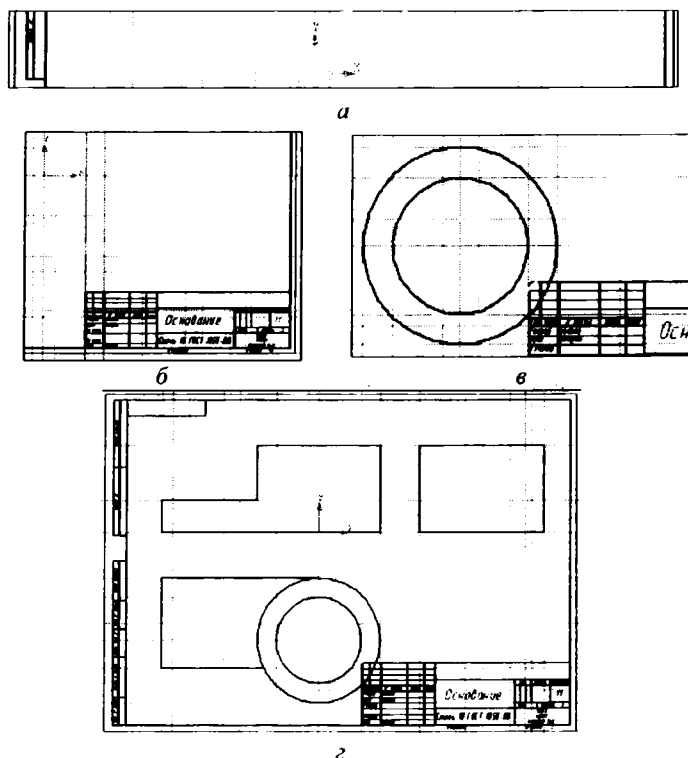


Рис. 2.11. Построение сетки и контура детали: а – построены вертикальные вспомогательные прямые; б – добавлены горизонтальные вспомогательные прямые; в – построение окружностей; г – чертеж после построения контуров изображений

Построить дуги окружностей левого отверстия на виде сверху.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Геометрия** → **Дуги** → **Дуга** → указать центр левой дуги; радиус 14; Enter; начальную и конечную точки дуги → указать центр правой дуги; радиус 14; Enter; начальную и конечную точки дуги.

Провести отрезки прямых внутри контуров детали.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Геометрия** → **Отрезки** → **Отрезок** → указывать начальные и конечные точки каждого отрезка. Закончив построение отрезков нажать → **Stop**.

Удалить часть окружности на виде сверху в месте расположения шпоночного паза.

РЕДАКТОР → **Удалить** → **Часть кривой** → Указать участок кривой для удаления, ЛКМ → **Stop** (рис. 2.12, а).

Провести осевые линии (в «КОМПАС-3D» осевые линии ограничиваются линиями видимого контура).

ИНСТРУМЕНТЫ → **Геометрия** → **Отрезки** → **Отрезок** → в панели свойств стиль **Осевая**; указывать начальные и конечные точки каждого отрезка. Закончив построение осевых линий нажать → **Stop**.

2.3.3. Изображение разрезов

На участках изображения в разрезах детали выполнить штриховку.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Штриховка** → в панели свойств: стиль **Металл**; шаг **3,0**; угол **45** → указать точку внутри штрихуемой области, ЛКМ → указать точки внутри других областей → **Создать объект** → **Stop** (рис. 2.12, б).

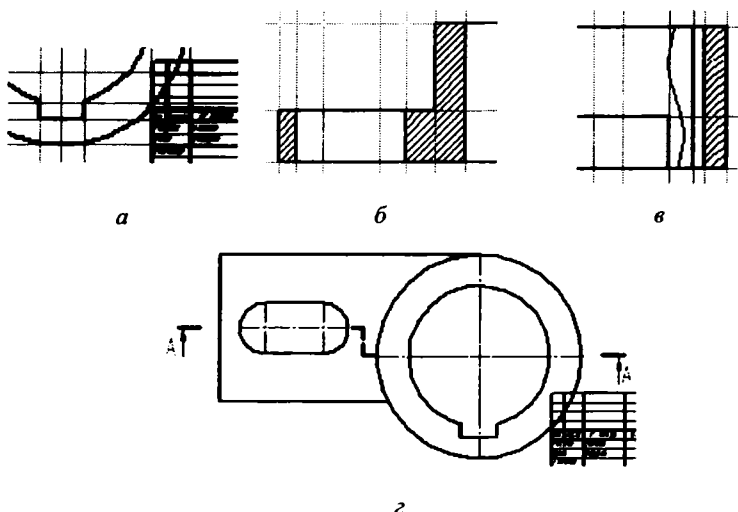


Рис. 2.12. Редактирование изображения и построение разрезов: а – удалена часть окружности; б – добавлена штриховка в разрезе детали; в – в местный разрез добавлена волнистая линия; г – построена линия ступенчатого разреза

Провести волнистую линию, ограничивающую местный разрез.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Обозначения** → **Линия обрыва** → **Волнистая линия** → отключить **Привязки** → в панели свойств: выбрать направление волнистой линии; указать начальную, затем конечную точки линии → **Stop** (рис. 2.12, в).

Обозначить линию ступенчатого разреза.

ИНСТРУМЕНТЫ → **Обозначения** → **Линия разреза** → Указать начальную точку разреза (с внутренней стороны утолщенного разомкнутого штриха) → в панели свойств включить кнопку **Сложный разрез** → Обозначить точки перегиба плоскости разреза и конечную точку разреза (при необходимости отключить **Привязки** или включить привязку **Выравнивание**, или менять

увеличение) → или **Stop**, или указать точку привязки вида (положение надписи А-А или др.).

Удалить вспомогательные линии.

РЕДАКТОР → Удалить → Вспомогательные кривые и точки → Во всех видах (рис. 2.12, з).

Изображение, полученное после корректировки положения элементов чертежа и простановки отдельных размеров, показано на рис. 2.13.

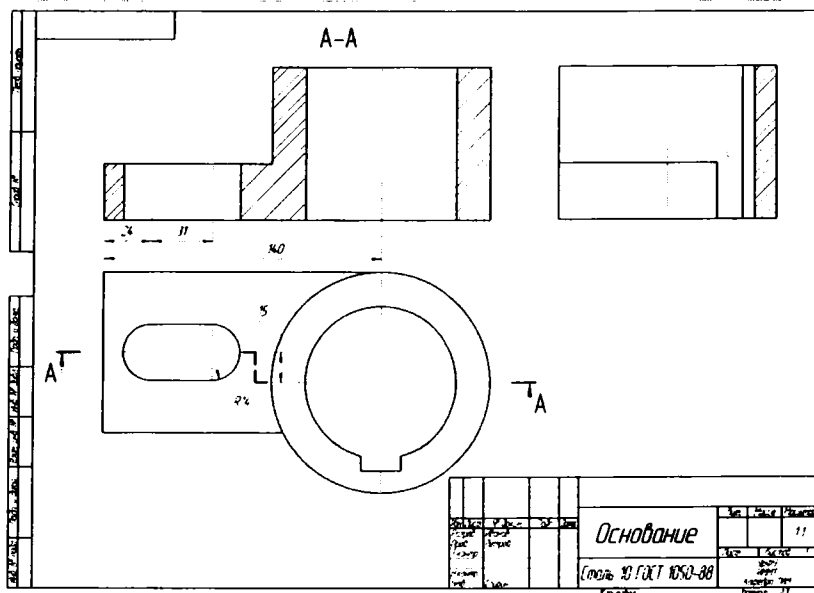


Рис. 2.13. Незавершенный чертеж детали «Основание»

2.4. Чертежи общего вида при проектировании

В процессе обучения студентов технических специальностей инженерной и компьютерной графике достаточно подробно изучаются приемы выполнения рабочих чертежей деталей, сборочных чертежей и т. д. При этом тема «выполнение чертежа общего вида» обычно не рассматривается.

На старших курсах студенты много занимаются конструированием и проектированием устройств, выполняют курсовые и дипломные проекты, магистерские диссертации. Здесь важнейшим конструкторским документом, который приходится разрабатывать, становится чертеж общего вида. Чертеж общего вида часто путают со сборочным чертежом и делают в нем много ошибок. В таблице сопоставлены характерные особенности правил выполнения чертежей. Данные для чертежа общего вида соответствуют ГОСТ 2.119-73

«Единая система конструкторской документации. Эскизный проект» и ГОСТ 2.118-73 «Техническое предложение».

Таблица 2.1

Правила выполнения чертежей	
Чертеж общего вида	Сборочный чертеж
Определяет конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей и поясняет принцип работы изделия	Содержит изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для его сборки (изготовления) и контроля
Может содержать <i>таблицу составных частей изделия</i> , которая обычно аналогична спецификации. Последовательность записей в таблице: – заимствованные изделия; – покупные изделия; – вновь разрабатываемые изделия	Должен содержать <i>спецификацию</i> – документ, определяющий состав сборочной единицы. Последовательность записей в спецификации: – документация; – сборочные единицы; – детали; – стандартные изделия; – материалы и др.

Чертеж общего вида *содержит изображения* изделия или его вариантов, виды, разрезы, сечения, надписи и тексты, схемы изделия, технические характеристики, необходимые для понимания конструкции и принципа работы. В нем должны указываться наименования составных частей изделия одним из способов:

- на полках линий-выносок;
- в таблице на листе с изображением изделия (тогда на полках линий-выносок указывают номера позиций составных частей);
- в таблице на отдельных листах формата А4. В общем случае таблица имеет графы: «Поз.», «Обозначение», «Наименование», «Кол.», «Дополнительные указания».

ГОСТ 2.118-73 «Техническое предложение» устанавливает *эквивалентность чертежа общего вида и электронной модели сборочной единицы*, которая будет рассмотрена в следующей главе. Соответственно, для них одинаково определено содержание изображений. ГОСТ содержит рекомендацию: «При выполнении **чертежа общего вида в электронной форме** рекомендуется применять одновременно отображение электронной структуры изделия (вместо таблицы) и его электронной модели, обеспечив возможность подсветки (выделения) составной части электронной модели при указании соответствующего элемента электронной структуры изделия». Рекомендация вводит понятие чертежа в электронной форме, а ее практическое применение со временем, возможно, будет уточняться.

ГОСТ 2.102-68 «Виды и комплектность конструкторских документов» установил *коды документа*, которые указывают в конце обозначения документа:

ВО – чертеж общего вида;

СБ – сборочный чертеж;

ПЗ – пояснительная записка;

ЭСБ – электронная модель сборочной единицы и др.

Не имеют кода конструкторские документы, которые считаются основными: чертеж детали, спецификация, электронная модель детали и электронная структура изделия.

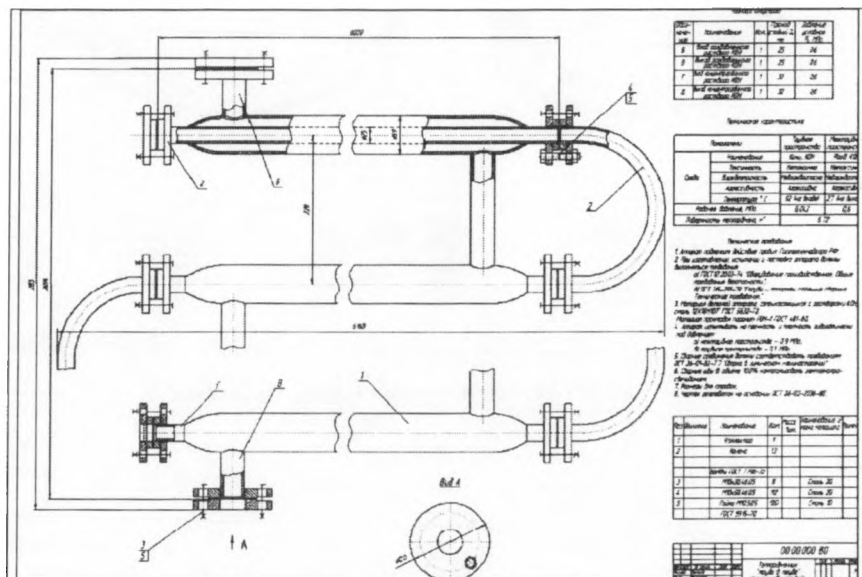


Рис. 2.14. Размещение элементов оформления на чертеже общего вида «Теплообменник»

Пример чертежа общего вида, выполненного в «КОМПАС v.10», показан на рис. 2.14. Пример взят из коллекции студенческих чертежей в открытом доступе Интернета и его содержание можно критиковать. Здесь пример используется только для иллюстрации возможных вариантов расположения информации при указании наименований составных частей в таблице на листе.

Выполнение чертежа общего вида с отдельной таблицей составных частей показывает рис. 2.15. На рисунке изображен фрагмент студенческой версии конструкции кладки промышленной печи, взятый из того же источника.

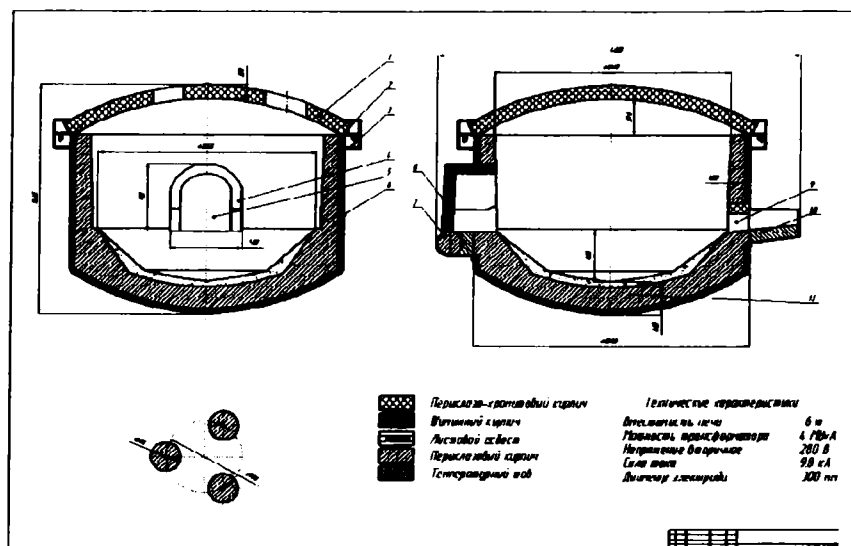


Рис. 2.15. Вариант исполнения чертежа общего вида

Глава 3

ОСНОВЫ ОБЪЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САПР «КОМПАС-3D»

3.1. Интерфейс программы

Интерфейс программы «КОМПАС-3D» во многом похож на интерфейс «КОМПАС-График». На рис. 3.1 показано главное окно системы, в которое добавлена панель **Дерево модели**, отображающая последовательность операций по построению модели или ее структуру.

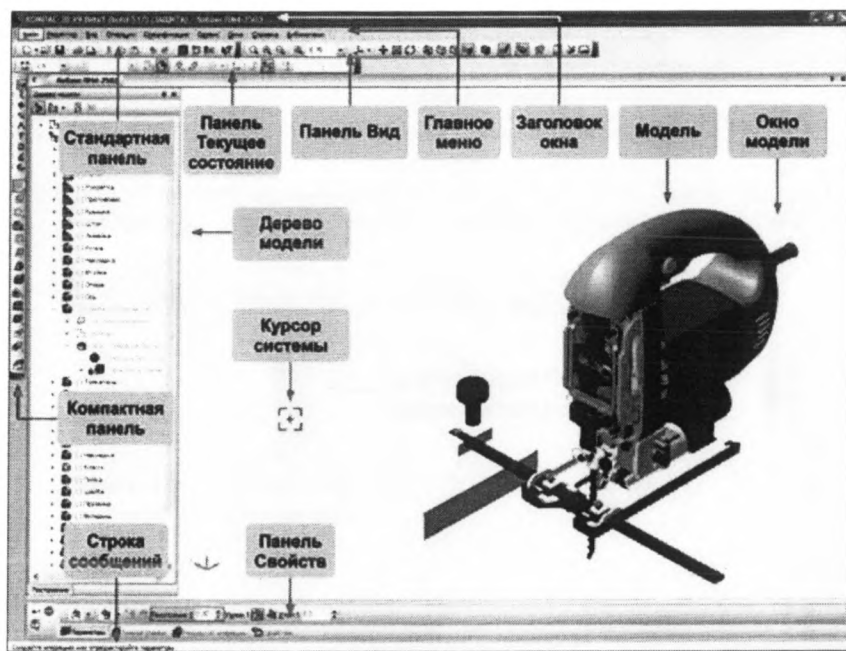


Рис. 3.1. Главное окно системы*

Главное окно содержит **Стандартную панель** и панель **Вид**, описанные в главе 2. **Панель Текущее состояние** аналогична одноименной панели программы «КОМПАС-2D» и содержит средства управления курсором, слоями, привязками, режимами работы с изображениями.



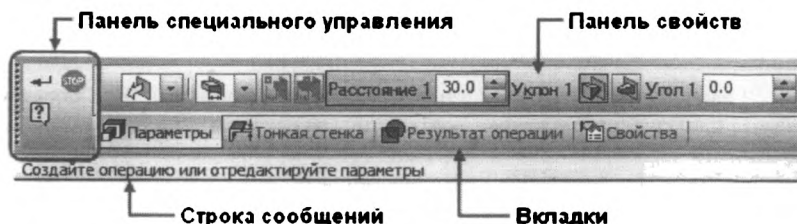
Компактная панель состоит из **Панели переключения** и **Инструментальной панели**. Каждой кнопке на Панели переключения соответствует одноименная инструментальная панель. Например, на рисунке видно, что нажатие кнопки Редактирование детали привело к появлению справа инструментальной панели Редактирование детали с рядом функциональных кнопок*.



Команды можно вызывать из **Расширенной панели команд**. Она появляется рядом с кнопкой, которую нажали и удерживают в нажатом состоянии.



Процессом выполнения команды управляют с помощью **Панели свойств**. Ниже панели расположена **Строка сообщений***.



На рис. 3.2 показано **Дерево модели**, в котором графически представлен набор объектов, составляющих модель. Дерево отображает либо последовательность построения модели (слева), либо ее структуру (справа).

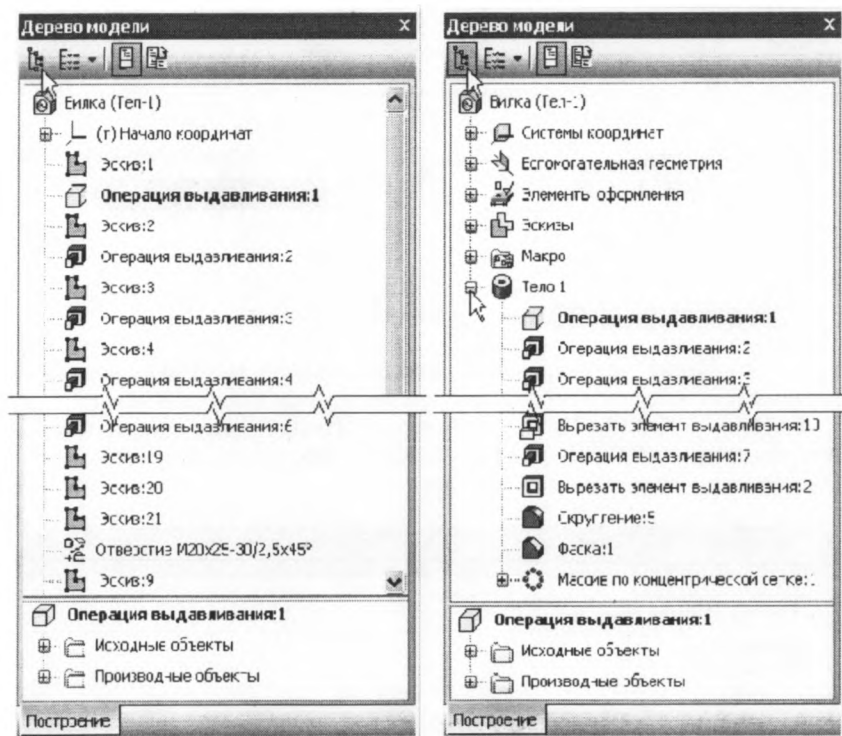


Рис. 3.2. Варианты отображения информации в **Дереве модели***

В «КОМПАСе», как и в других графических редакторах, в качестве основной используется мировая система координат (МСК), которая отличается от системы координат, рекомендуемой ГОСТ 2.317-69. Обе системы сравниваются на рис. 3.3. Для удобства построений текущее положение осей отображается в **Окне модели**. Кнопка **Ориентация** на панели **Вид** позволяет выбирать варианты стандартного расположения модели: *Спереди*, *Сзади*, *Слева*, ..., *Изометрия XYZ*...

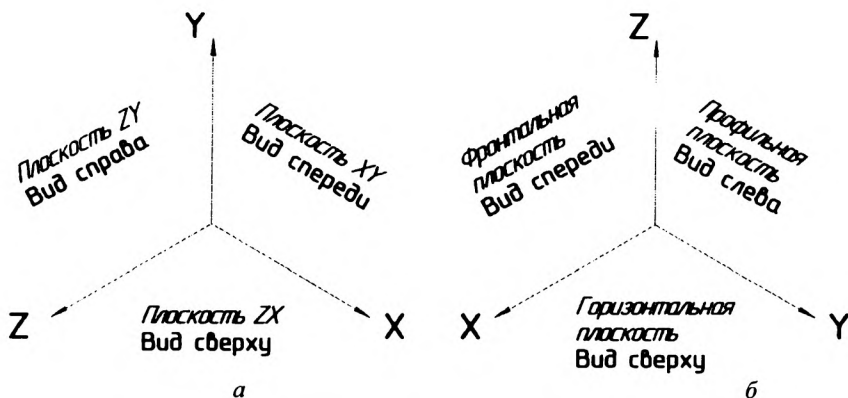


Рис. 3.3. Системы координат: *а* – МСК, используемая в «КОМПАС-3D»;
б – рекомендуемая ГОСТ 2.317-69

Создание и сохранение файла детали. Создание новой детали начинается с выполнения последовательности команд главного меню.

ФАЙЛ → **СОЗДАТЬ** → Во вкладке **Новый документ** выбрать тип документа → **ДЕТАЛЬ** и нажать кнопку → **ОК** в нижней части вкладки. Появляется главное окно системы (рис. 3.1).



Полезно сразу же сохранить документ и дать ему имя.

На панели **СТАНДАРТНАЯ** нажать кнопку → **СОХРАНИТЬ**, в окне сохранения документа → **Ввести имя детали**, нажать **СОХРАНИТЬ** → Появится окно **Информация о документе**, нажать → **ОК**.

3.2. Общее представление о трехмерном моделировании

Объемные элементы создаются перемещением плоских фигур в пространстве. Плоскую фигуру называют **эскизом**, а перемещение фигуры – **операцией**. Операции бывают двух типов: добавляющие материал или

вычитающие (вырезающие) его. На рис. 3.4 схематически показаны четыре основные операции 3D-моделирования: операция выдавливания, операция вращения, кинематическая операция и операция построения тела по сечениям – эскизам.

Рис. 3.4, *а* показывает процедуру получения объемной фигуры параллелепипеда выдавливанием. В выбранной плоскости вычерчивается плоская фигура (на рисунке это прямоугольник, образованный линиями основной толщины). Плоская фигура перемещается в заданном направлении (показано стрелкой), образуя параллелепипед (ребра обозначены тонкой линией).

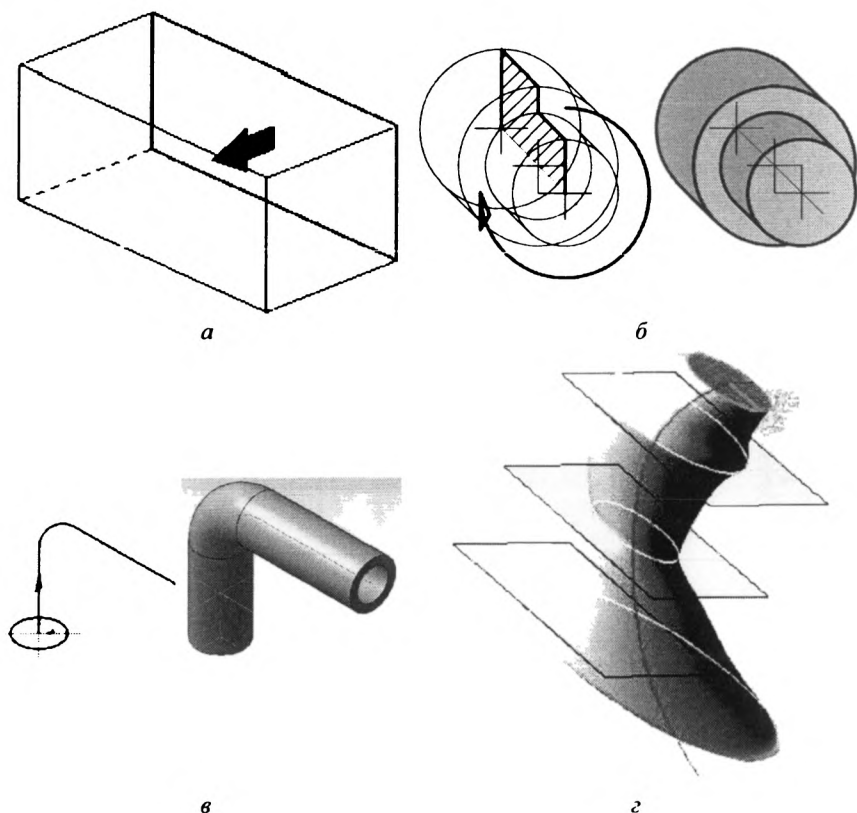


Рис. 3.4. Схемы операций объемного моделирования: *а* – операция выдавливания; *б* – операция вращения; *в* – кинематическая операция; *г* – построение тела по сечениям

Операция вращения показана на рис. 3.4, б. Здесь объемная фигура получается вращением плоской фигуры вокруг оси. На рисунке слева видны характерные геометрические элементы операции: плоский контур, ограниченный линией основной толщины; линия оси, вокруг которой вращается контур; направление вращения. Справа показан результат операции моделирования, имеющий цилиндрическую форму.

Кинематическая операция – это построение объемной фигуры перемещением образующей (сечения) вдоль направляющей (траектории). Сечение вычерчивается как отдельный эскиз, состоящий из одного контура: разомкнутого или замкнутого. В частном случае сечением может быть окружность, показанная на рис. 3.4, в, которая движется вдоль изогнутой траектории. Траектория описывается другим эскизом. Команда **Кинематическая операция** имеет опции выбора типа перемещения сечения вдоль траектории: **сохранять угол наклона, параллельно самому себе и ортогональные траектории** (опция использована на рис. 3.4, в). Предусмотрена возможность построения тонкостенного кинематического элемента с заданием толщины стенок.

Операция построения тела по сечениям показана на рис. 3.4, г, взятом из Интернета. Она позволяет строить форму моделей по их сечениям, помещенным в ряд эскизов. Эскизов должно быть не менее двух, они могут быть произвольно ориентированы. В начальном или конечном сечениях могут содержаться контуры или точки, в промежуточных – только контуры. При необходимости в отдельном эскизе можно описать форму осевой линии, задающей направление построения элементов по сечениям. Если при проектировании выбрана **Автоматическая генерация траекторий** в переключателе **Траектория**, то система сама определит какие точки соединить в процессе построения элемента.





Более подробно основные операции 3D-моделирования рассмотрены ниже в упражнениях, предназначенных для предварительного знакомства с принципами работы и возможностями графических редакторов. Для наглядности результаты построений отображены на рисунках.

3.3. Основные операции геометрического моделирования


3.3.1. Операция выдавливания

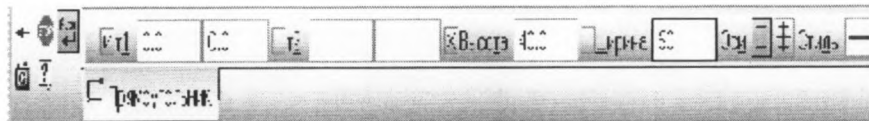
Упражнение 3.1. Построение трехмерного параллелепипеда.

После запуска программы и создания файла детали задать ориентацию основных плоскостей.

На панели Вид →  **ОРИЕНТАЦИЯ** →  **Изометрия XYZ** →
 Выбрать плоскость для построения эскиза фигуры.
 →  **Начало координат** (в дереве модели на экране слева щелчок по перекрестию) →  **Плоскость XY** (выбрать в дереве модели).
 Изображение на экране показано на рис. 3.5, а.

Перейти в режим построения эскиза и построить прямоугольник в плоскости XY.


→ кнопка  Эскиз → Инструменты (в Главном меню) → Геометрия → Прямоугольники → Прямоугольник → щелкнуть ЛКМ по пересечению осей координат → в окна появившейся панели свойств ввести значения высоты 40; ширины 60; стиль – основная линия.



→ Enter → Stop (Прервать команду).
Полученное изображение показано на рис. 3.5, б.

Повторно нажать кнопку  Эскиз (для выхода из режима построения эскиза).

Операцией выдавливания построить параллелепипед как результат перемещения построенного прямоугольника на расстояние 70 мм.

→ Операции (в Главном меню) → Операция → Выдавливания → в панели свойств ввести значение расстояния 70 (изображение на экране на рис. 3.5, в)
→  Создать объект.

Построенный параллелепипед показан на рис. 3.5, г.

Упражнение 3.2. Построение выступа и отверстия в модели.

Выступ и отверстие строятся на трехмерном параллелепипеде – геометрической модели, построенной в упражнении 3.1. Файл с моделью 3.1 необходимо открыть и сохранить под новым именем

ФАЙЛ → ОТКРЫТЬ → Файл «Модель упражнения 1» → ОТКРЫТЬ
ФАЙЛ → Сохранить как → Файл «Модель упражнения 2» → СОХРАНИТЬ.

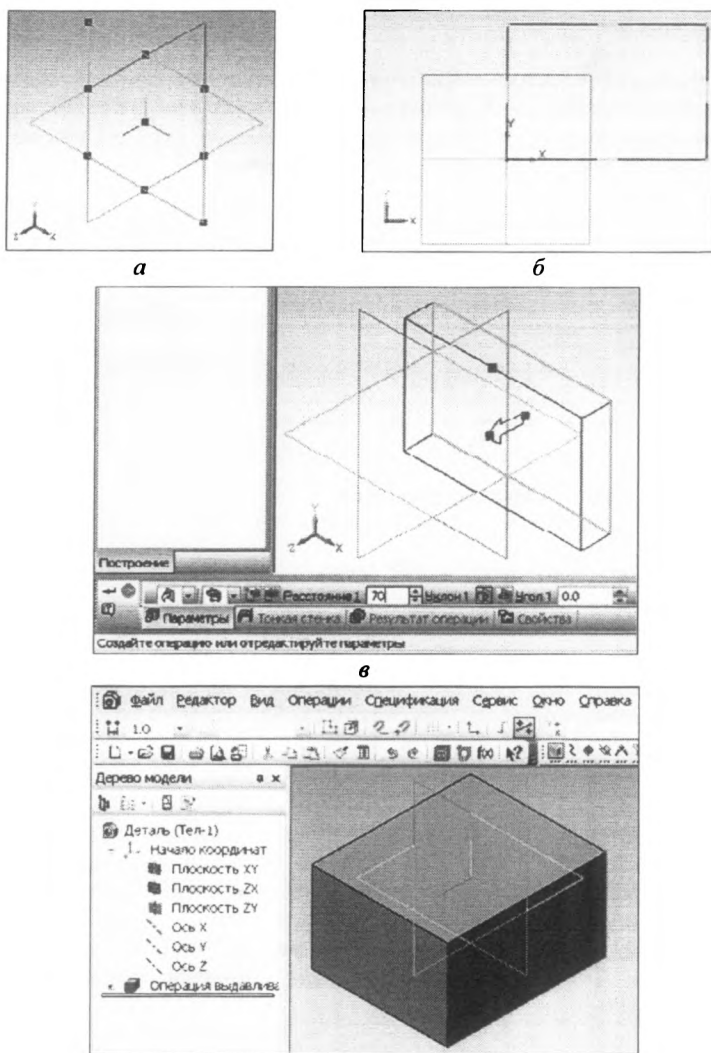









Рис. 3.5. Изображения на экране при выполнении операции выдавливания:
 а – после выбора плоскости построения эскиза; б – прямоугольник, построенный
 в выбранной плоскости; в – после обращения к операции выдавливания;
 г – результат моделирования

В «КОМПАС-3D» предусмотрена возможность округления линейных значений величин до значений, кратных шагу курсора. При моделировании для численного инженерного анализа объектов округление может быть нежелательно. На границах добавляемых объектов могут образовываться разрывы и сеточные генераторы таких программ, как ANSYS, не смогут создать расчетную сетку. Выход из режима округления обеспечивает повторное нажатие кнопки  в панели **Текущее состояние**. Более удобно в этом случае отключить режим округления в диалоге настройки курсора

→ **СЕРВИС** → **ПАРАМЕТРЫ** → **СИСТЕМА** → **Графический редактор** → **Курсор** → **Округление** (убрать флажок для отключения) → **ОК** →  (нажать, если кнопка в активном состоянии).

– К левой задней грани параллелепипеда (на рис. 3.5, з) добавить второй параллелепипед размерами 30×60×80 мм.




→ **ПОВЕРНУТЬ** → **Указать грань ЛКМ** (рис. 3.6, а) →  **Эскиз** → **Инструменты** (в Главном меню) → **Геометрия** → **Прямоугольники** → **Прямоугольник** → **Указать первую вершину курсором ЛКМ в начале координат** ($Y = 0; Z = 0$) → В панели свойств ввести: **высота 60; ширина 80; стиль Основная** → **ENTER** → **STOP** Прервать команду (рис. 3.6, б) →


 **Эскиз** (Заккрыть эскиз) → **Операции** (в Главном меню) → **Операция** → **Выдавливания** → в панели свойств ввести **Прямое направление; расстояние 30** →  **Создать объект** →  **ОРИЕНТАЦИЯ** →  **Изометрия XYZ** → (рис. 3.6, в).

– Вырезать выдавливанием вертикальное сквозное отверстие диаметром 50

мм

→ **Указать верхнюю грань с меньшей высотной отметкой** (рис. 3.6, з) →

 **Эскиз** → **Инструменты** (в Главном меню) → **Геометрия** → **Окружности** → **Окружность** → В панели свойств ввести: **центр $X = 30; Z = -35$; диаметр 50; стиль основная** → **Enter** → **Stop** (рис. 3.6, д) →  **Эскиз** (Заккрыть эскиз) → **Операции** (в Главном меню) → **Вырезать** → **Выдавливанием** → в панели свойств ввести **Прямое направление; Через все** →  **Создать объект**.

Полученное изображение объекта, скорректированное командой  **Повернуть**, показано на рис. 3.6, е.

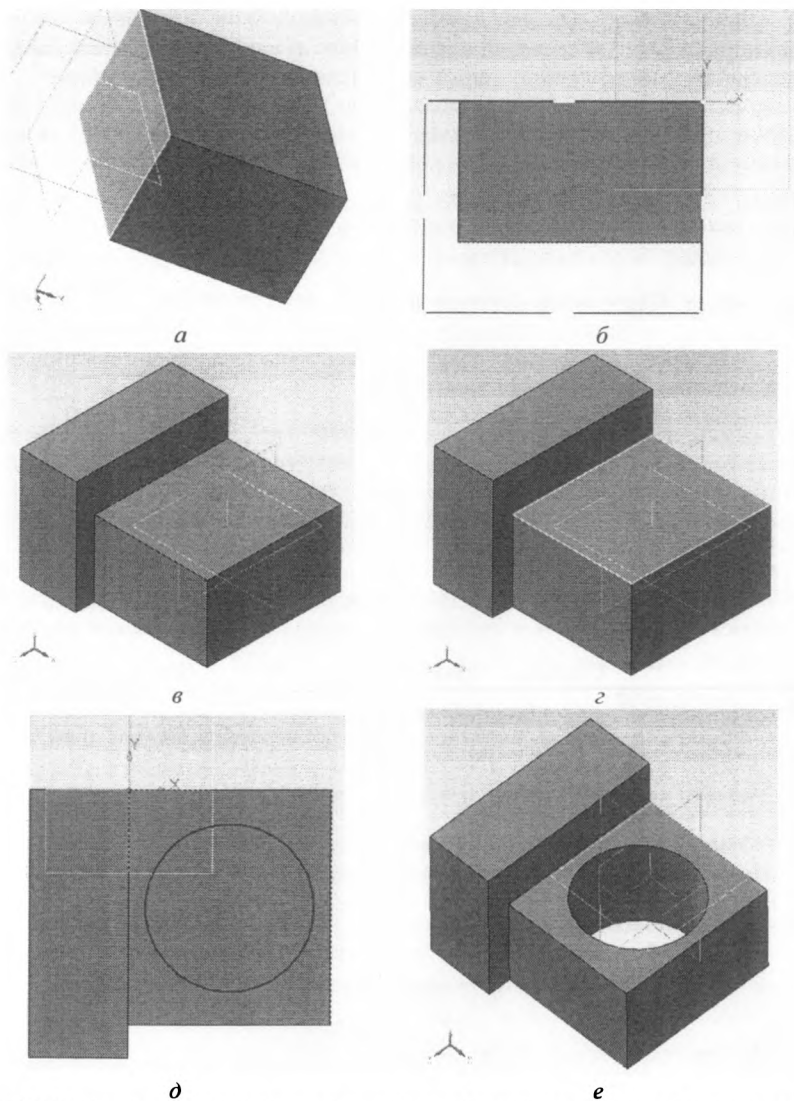


Рис. 3.6. Последовательность моделирования сложной детали операциями добавления или вырезания материала выдавливанием: *а, г* – указание грани для построения эскиза; *б, д* – эскиз плоского контура; *в, е* – модель, построенная операцией выдавливания

3.3.2. Операция вращения

Упражнение 3.3. Построение тела вращения.

Создать и сохранить файл детали

ФАЙЛ → **СОЗДАТЬ** → **ДЕТАЛЬ** (во вкладке **Новый документ**) → **ОК**

→ **СОХРАНИТЬ** (на панели **Стандартная**) → **Ввести имя** (например, **Модель упражнения 3**) → **СОХРАНИТЬ** → **ОК** (в окне **Информация о документе**).

Задать ориентацию основных плоскостей.

→ **ОРИЕНТАЦИЯ** (на панели **Вид**) → **Изометрия XYZ** →

Выбрать плоскость для построения эскиза фигуры.

→ **Начало координат** (в дереве модели) → **Плоскость XY** (указать в дереве модели).

В режиме построения эскиза построить вращаемый контур

Эскиз → **Ортогональное черчение** → **Инструменты** (в **Главном меню**) → **Геометрия** → **Непрерывный ввод объектов** →

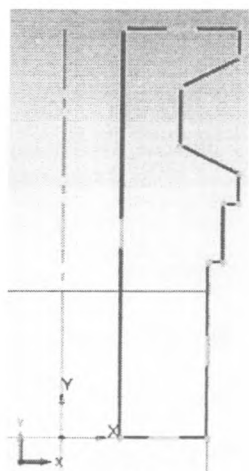
Ось вращения строится осевой линией от начала координат вверх.

→ В панели свойств: **стиль – осевая**; **начальная точка – ЛКМ по началу координат**; **длина – 70**; **угол – 90** → **ENTER** → **STOP** →

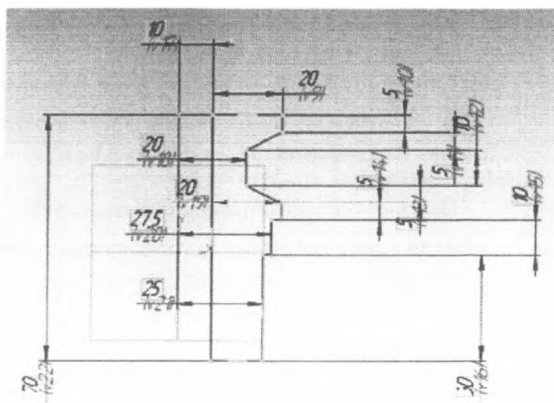
Последовательность действий при построении эскиза учитывает возможности команды **Авторазмер**, предусмотренные для 3D-моделирования. Поэтому контур строится линией основной толщины сначала без точного задания размеров. С размерами на этом этапе можно ошибаться, так как они будут уточняться позднее. Главное качественно правильно задать контур фигуры. Построения удобно выполнять в режиме **Ортогональное черчение**, вводя длину отрезков в активное окно панели свойств и указывая направление отрезка курсором.

→ **Непрерывный ввод объектов** → В панели свойств: **стиль – основная**; **начальная точка 1: x – 10; y – 0** → **ENTER** → **длина 70**; **курсор над точкой (угол 90°)**; щелчок ЛКМ → **длина 20**; **курсор справа от точки (угол 0°)**; ЛКМ → **длина 5**; **курсор снизу от точки (угол 270°)**; ЛКМ → **Ортогональное черчение (отключить)** → **конечная точка: x – 20; y – 60** → **ENTER** → **длина – 10**; **курсор снизу от точки (угол 270°)**; ЛКМ → **конечная точка: x – 30; y – 45** → **ENTER** → **Ортогональное черчение** → **длина 5**; **курсор снизу от точки (угол 270°)**; ЛКМ → **длина 2.5**; **курсор слева от точки (угол 180°)**; ЛКМ → **длина – 10**; **курсор снизу от точки**; ЛКМ → **длина 2.5**; **курсор слева от точки**; ЛКМ → **Установить привязку** → **Выравнивание** → **ОК** → **контролировать действия по линиям привязки: длина 30**; **курсор снизу от точки**; ЛКМ → **длина 15**; **курсор слева**; ЛКМ → **Создать объект** → **STOP**.

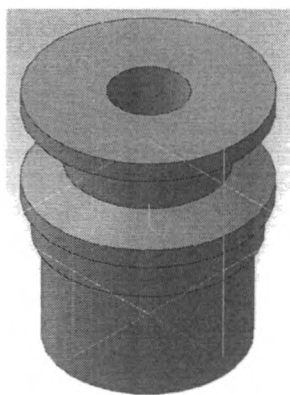
Полученный эскиз показан на рис. 3.7, а.



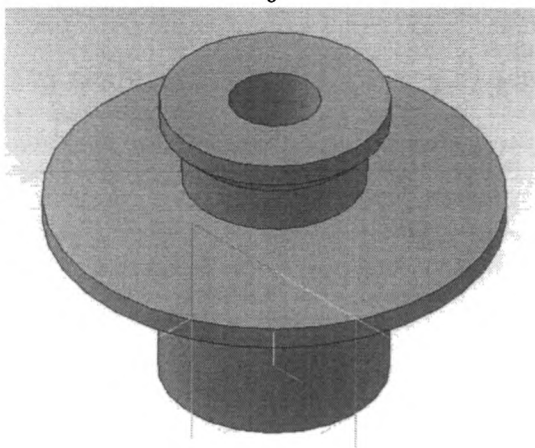
a



б



в




г

Рис. 3.7. Построение модели тела вращения:


a – эскиз, полученный приближенным построением; **б** – эскиз после уточнения размеров; **в** – результат выполнения операции вращения; **г** – модель после редактирования размеров

Если при выполнении эскиза допускались ошибки или неточности, задание размеров можно уточнить.

→ **Инструменты** (в **Главном меню**) → **Размеры** → **Линейные** → **Линейный размер** → (Для контроля щелчок ПКМ в окне модели → в контекстном меню указано ☒ **Автосоздание**) → Указать точку привязки размера (допустим это верхняя левая точка на контуре); ЛКМ → Указать вторую точку (верхняя правая); ЛКМ → Установить фантом размера в удобное положение; ЛКМ → Ввести **20** в поле **выражение** окна установки размеров → **ОК** → Указать первую точку следующего размера; ЛКМ → и так далее...ввести точные значения всех размеров →  → Указать положение точки на осевой линии для задания расстояния до линии; ЛКМ → **STOP** →.

Эскиз с заданными точными размерами показан на рис. 3.7, б.


Создать тело вращения.

→  **Эскиз** (Заккрыть эскиз) → **Операции** (в **Главном меню**) → **Операция** → **Вращения** → в панели свойств: способ – **Торонд**; угол – **360** →
↪ **Создать объект**.

Модель тела вращения, полученная в итоге, показана на рис. 3.7, в.


Редактирование эскиза

Для изменения размеров модели

Навести курсор на операцию вращения в дереве модели, нажать ПКМ → **Редактировать эскиз** → двойной щелчок ЛКМ на изменяемом размере, ввести его новое значение → **ОК** →  **Эскиз** (Заккрыть эскиз).

Модель на рис. 3.7, г получена уменьшением размена верхнего и увеличением размера нижнего буртика.

Если размеры не уточнялись (как на рис. 3.7, б), новый размер вводится выполнением команд

→ **Инструменты** (в **Главном меню**) → **Размеры** → **Линейные** → **Линейный размер** → указать первую точку привязки размеров; ЛКМ **размер** → указать вторую точку; ЛКМ → ввести новое значение размера → **ОК** → **STOP** →
 **Эскиз** (Заккрыть эскиз).

Если при построении эскиза контур вращения будет не замкнут, система по умолчанию построит тонкостенный элемент. Сплошное тело будет построено, если в панели свойств указать способ – **Сфероид** (при этом на вкладке **Тонкая стенка** выбрать **Нет**).

Упражнение 3.4. Добавить к телу вращения участок с резьбой.

К модели на рис. 3.7. в добавить сверху цилиндр диаметром 30 мм и высотой 40 мм; на верхнем торце цилиндра сделать фаску размерами $2,5 \times 45^\circ$; на участке цилиндра длиной 30 мм нарезать резьбу $M30 \times 1,5$;


Файл с моделью 3 открыть и сохранить под новым именем


ФАЙЛ → **ОТКРЫТЬ** → *Файл «Модель упражнения 3»* → **ОТКРЫТЬ**
ФАЙЛ → **Сохранить как** → *Файл «Модель упражнения 4»* → **СОХРАНИТЬ**.


Цилиндр удобно строить командой выдавливания: указать курсором верхнюю поверхность модели – перейти в режим построения эскиза – построить окружность – выдавить окружность на нужную длину и т. д. Но моделируемые поверхности могут иметь более сложную форму, поэтому полезнее рассмотреть использование операций вращения.

Указать **Плоскость XY**, проходящую через ось поверхности вращения



→  Начало координат →  Плоскость XY →  Эскиз →

 Непрерывный ввод объектов → В панели свойств: стиль – основная; T1:

$x = 0$; $y = 70$ → **ENTER** →  Ортогональное черчение → длина 40; курсор над точкой; ЛКМ → длина 15; курсор справа от точки; ЛКМ → длина 40; курсор снизу; ЛКМ → длина 15; курсор слева от точки; ЛКМ → **STOP** → двойной ЛКМ по левой вертикальной линии в эскизе построенного прямоугольника → В панели свойств: стиль – осевая → Создать объект →


 Фаска → указать длину 1 – 2.5; угол – 45 → указать верхнюю линию прямоугольника, затем – правую → **STOP** (рис. 3.8, а) →.

Создать тело вращения

→  Эскиз (Заккрыть эскиз) → **Операции** (в Главном меню) → **Операция** → **Вращения** → в панели свойств: способ – **Сферонд**; угол – 360 →  Создать объект (рис. 3.8, б).

Резьба в «КОМПАС-3D» создается командой **Условное изображение резьбы** в виде условного изображения (а не как винтовая поверхность). После вызова команды нужно указать базовый объект – круглое ребро цилиндрической (конической) грани, на которой должна строиться резьба.

→ **Операции** (в Главном меню) → **Элементы оформления** →

 Условное изображение резьбы → в панели свойств указать базовый объект – **Ребро** (со стороны, противоположной фаске); шаг – 1.5; убрать флажок в окне **На всю длину**; длина 30; **Наружная**; ЛКМ по окну **Начальная граница**; Указать ребро со стороны фаски → **Создать объект** (модель с условным изображением резьбы на рис. 3.8, в).

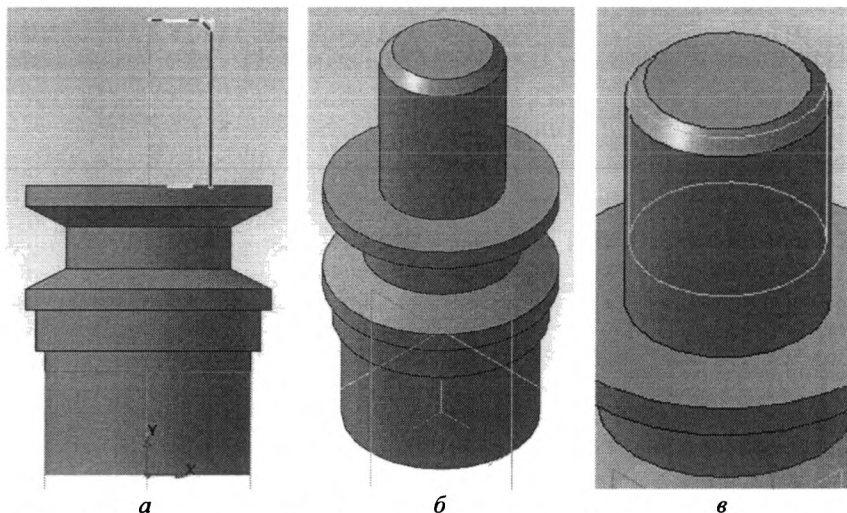


Рис. 3.8. Последовательность добавления цилиндра с резьбой: а – эскиз добавляемого контура вращения; б – добавлен цилиндрический участок; в – добавлено условное обозначение резьбы

3.3.3. Кинематическая операция

Упражнение 3.5. Построение модели участка трубопровода.

Изобразить участок трубопровода, имеющего диаметр 30 мм и толщину стенок 5 мм. Трубопровод начинается в точке с координатами (70; 0; 100), протянут на длину 70 мм параллельно и встречно оси X , затем на длину 100 мм встречно оси Z (до начала координат), затем на 60 мм вверх вдоль оси Y .

Для построения использовать кинематическую операцию, создающую объемную модель как результат перемещения образующей (окружности с диаметром 30 мм, построенной в отдельном эскизе) вдоль направляющей, контур которой приходится строить в двух плоскостях (в двух эскизах соответственно). Контур в эскизах соединяются друг с другом последовательно (конечная точка контура в первом эскизе является начальной точкой контура во втором эскизе).

Создать и сохранить файл детали

ФАЙЛ → **СОЗДАТЬ** → **ДЕТАЛЬ** (во вкладке **Новый документ**) → **ОК**
 → **СОХРАНИТЬ** (на панели **Стандартная**) → **Ввести имя** (например, **Модель упражнения 5**) → **СОХРАНИТЬ** → **ОК**.

Задать ориентацию основных плоскостей.

→ **ОРИЕНТАЦИЯ** (на панели **Вид**) → **Изометрия XYZ** →

Через точку начала трубы провести плоскость, параллельную плоскости YZ .

→ Начало координат (в дереве модели) → Плоскость ZY → Операции (в Главном меню) → Плоскость → Смещенная → в панели свойств: расстояние 70; Обратное направление (по смещению фантома проверить правильность задания направления) → Создать объект → STOP →.

Построить эскиз образующей – окружности сечения трубы.

→ Указать смещенную плоскость в дереве модели → Эскиз → ОРИЕНТАЦИЯ → Нормально к... → Инструменты (в Главном меню) → Геометрия → Окружности → Окружность → В панели свойств диаметр 30; стиль основная → Enter → ЛКМ (указать центр окружности в начале координат эскиза) → STOP → Эскиз Закрыть (рис. 3.9, а).

Ориентация Нормально к... используется, если экрану параллельна не координатная плоскость, а вспомогательная или грань модели. Эта плоскость перпендикулярна направлению взгляда.

Построить эскиз для левого горизонтального колена трубы (границу эскизов можно принять по середине среднего участка).

→ Начало координат (в дереве модели) → Плоскость ZX → Эскиз → Непрерывный ввод объектов → В панели свойств: стиль – основная; длина 50; направление вверх, ЛКМ → STOP → Скругление → В панели свойств: радиус 25; указать по очереди обе линии → STOP → Эскиз закрыть (рис. 3.9, б).

Построить второй эскиз для правой верхней части траектории.

→ Начало координат (в дереве модели) → Плоскость ZY → Эскиз → Непрерывный ввод объектов → Координаты т. 1: 50;0 → ENTER → длина 50; вправо, ЛКМ → длина 60; вниз, ЛКМ → STOP → Скругление → радиус 25; указать по очереди обе линии → STOP (рис. 3.9, в) → Эскиз закрыть.

Совокупность двух эскизов в изометрии показана на рис. 3.9, г.

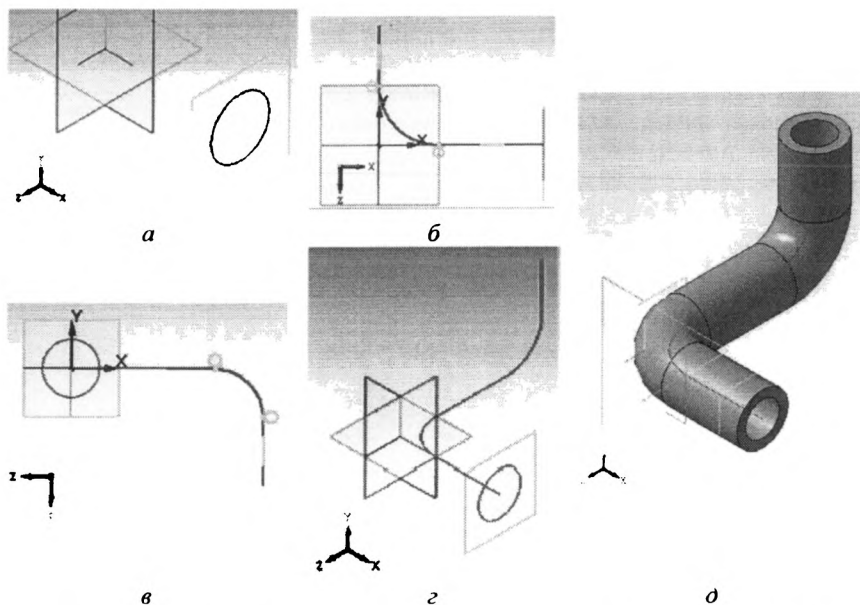


Рис. 3.9. Построение трубопровода кинематической операцией: а – эскиз сечения трубы; б – эскиз первого участка кинематической траектории; в – эскиз второго участка траектории; г – итоговое изображение эскизов; д – геометрическая модель участка трубопровода

Построить модель с помощью кинематической операции.

→ **Операции** (в Главном меню) → **Операция** → **Кинематическая** → в панели свойств: ЛКМ в окне **Сечение** – в дереве модели указать **Эскиз 2**; ЛКМ в окне **Траектория** – в дереве модели указать **Эскиз 3** и **Эскиз 4** → В панели свойств указать **Тонкая стенка**; **тип Внутрь**; **толщина 5** → **Создать объект**.
Полученная модель показана на рис. 3.9, д.

3.3.4. Построение тела по сечениям





Упражнение 3.6. Построение модели диффузора.

Геометрия диффузора создается тремя последовательно (через 200 и 400 мм) расположенными сечениями: прямоугольным с размерами 200×300, круглым с диаметром 100 и круглым с диаметром 250 мм.

Создать и сохранить файл детали.

ФАЙЛ → **СОЗДАТЬ** → **ДЕТАЛЬ** (во вкладке **Новый документ**) → **ОК** → **СОХРАНИТЬ** (на панели **Стандартная**) → **Ввести имя** (например, **Модель упражнения 6**) → **СОХРАНИТЬ** → **ОК**.

Задать ориентацию основных плоскостей и две смещенные плоскости.

→  **ОРИЕНТАЦИЯ** (на панели Вид) →  **Изометрия XYZ** → **Операции** (в Главном меню) → **Плоскость** → **Смещенная** → в панели свойств: указать как базовую Плоскость ZY в дереве модели; расстояние 200; **Прямое направление** →  **Создать объект** → В дереве модели указать **Смещенная плоскость 1** → в панели свойств: расстояние 400; **Прямое направление** →  **Создать объект** → **STOP**.

На экране появятся изображения смещенных плоскостей.

Создать эскиз на плоскости ZY (прямоугольник 200×300 с центром в начале координат).

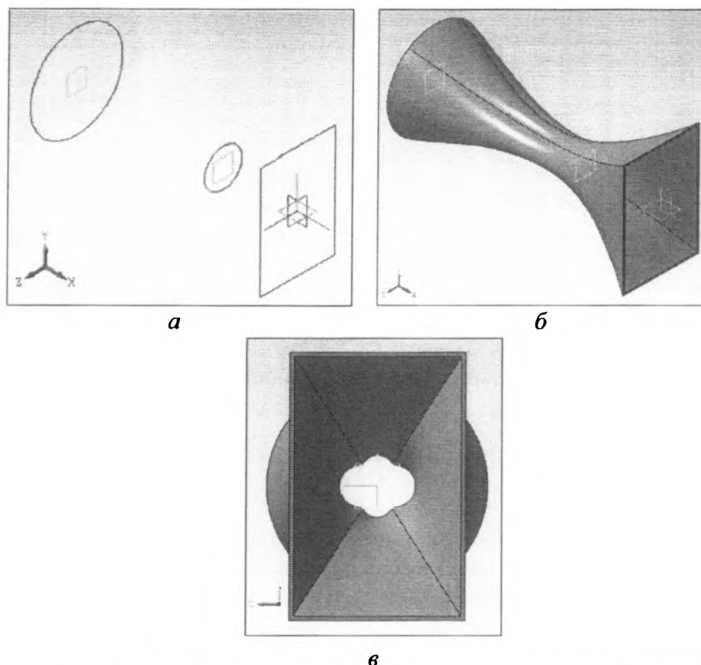


Рис. 3.10. Построение модели диффузора по сечениям: *а* – изображение на экране после создания эскизов в сечениях; *б* – модель в изометрии; *в* – эскиз второго участка траектории; *г* – вид на модель справа

3.4. Операции конструирования

Упражнение 3.7. Выполнение учебных упражнений.

Рассматривать новые операции удобно на уже построенной модели. Сохранить файл с моделью упражнения 2 под новым именем.

**ФАЙЛ → ОТКРЫТЬ → Файл «Модель упражнения 2» → ОТКРЫТЬ
ФАЙЛ → Сохранить как → Файл «Модель упражнения 7» →
СОХРАНИТЬ.**

3.4.1. Построение фасок и скруглений

В модели опоры на рис. 3.6, *е* выполнить фаску на одном из ребер.

**Операции (в Главном меню) → Фаска → в панели свойств: выбрать способ
Построение по стороне и углу; Длина 4.0 → Указать верхнее правое
горизонтальное ребро → ↵ Создать объект.**

Фрагмент модели с фаской показан на рис. 3.11, *а*.

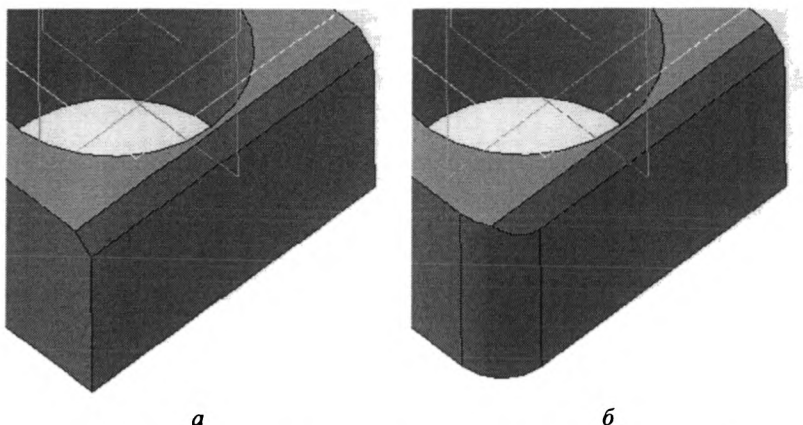


Рис. 3.11. Модель опоры после построения фаски (*а*) и скругления (*б*)

На ближнем к наблюдателю вертикальном ребре выполнить скругление радиусом 10 мм.



**Операции (в Главном меню) → Скругление → в панели свойств: Радиус 10.0
→ Указать ближнее вертикальное ребро → ↵ Создать объект.**

Фрагмент модели на рис. 3.11, *б*.

Команда **Фаска** имеет опции. Построение можно выполнять **По двум сторонам**, можно указывать для снятия фаски несколько ребер. Если указать грань, то фаски будут построены на всех ребрах грани.

3.4.2. Построение уклона

На дальней левой вертикальной плоскости опоры сделать уклон 10° .

Операции (в Главном меню) → **Уклон**
→ в панели свойств: **Угол 10.0**;
Основание – повернуть деталь
командой  **Повернуть** и указать
нижнюю поверхность (грань к которой
наклоняют); **Грани** – указать дальнюю
левую плоскость (наклоняемую) → 
Создать объект.

Восстановить ориентацию детали
после поворота

 **ОРИЕНТАЦИЯ** →
 **Изометрия X'Y'Z**

Полученное изображение на рис. 3.12.

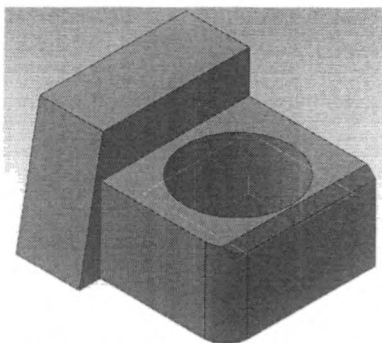


Рис. 3.12. Модель после построения
уклона одной из граней


3.4.3. Сечение модели плоскостью

Упражнение 3.8. Для построений используется модель упражнения 3 (рис. 3.7, в).


1. Открыть файл с моделью и сохранить под новым именем.

ФАЙЛ → **ОТКРЫТЬ** → *Файл «Модель упражнения 3»* → **ОТКРЫТЬ** →
ФАЙЛ → **Сохранить как** → *Файл «Модель упражнения 10»* →
СОХРАНИТЬ.


2. Отсечь половину детали плоскостью ZY : указать плоскость ZY , обратиться к команде сечения поверхностью. В опции команды **направление** показать, с какой стороны от секущей плоскости часть детали будет удалена.

→ Указать в дереве модели **Плоскость ZY** → **Операции** → **Сечение** →
Поверхностью → в панели свойств: **Направление прямое** →  **Создать объект** (рис. 3.13, а).

3. Отсечь часть детали плоскостью, параллельной XY , смещенной по оси Z на 12 мм. Создать смещенную плоскость.

Указать в дереве модели **Плоскость XY** → **Операции** → **Плоскость** →
Смещенная → в панели свойств: **расстояние 12**; **Прямое направление** → 
Создать объект → **STOP.**

Отсечь часть детали.

→ Указать в дереве модели **Смещенная плоскость 1** → **Операции** →
Сечение → **Поверхностью** → в панели свойств: **Обратное направление** → 
Создать объект (рис. 3.13, б).

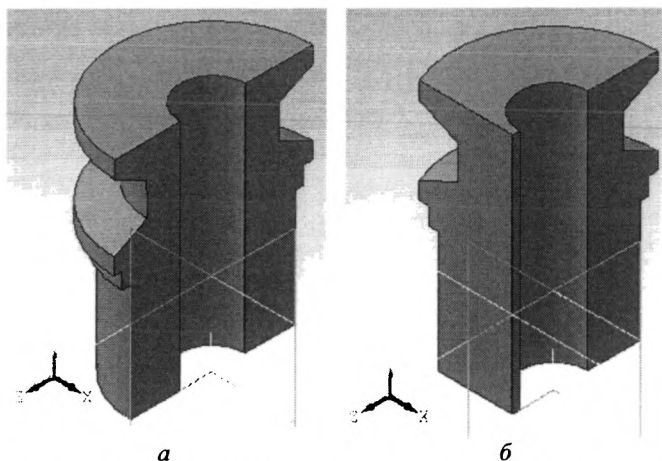






Рис. 3.13. Деталь после отсечения плоскостью XY (а) и после отсечения смещенной плоскостью (б)

3.4.4. Сечение по эскизу


Упражнение 3.9. Сначала строится эскиз, показывающий, какую часть модели необходимо удалить. Эскиз содержит один разомкнутый контур. Затем вызывается команда **Сечение по эскизу**.

1. Открыть файл «Модель упражнения 3» и сохранить под новым именем (Модель упражнения 11).

2. Вырезать четверть детали между плоскостями XY и ZY . Создать эскиз.

→ Указать верхнюю грань модели; ЛКМ →  Эскиз → Инструменты → Геометрия →  Непрерывный ввод объектов → включить глобальную привязку **Выравнивание** и  **Ортогональное черчение**; указать начальную точку на оси Z ниже контура детали; указать вторую точку в начале координат; указать точку на оси X правее контура детали → STOP (рис. 3.14, а) →  Эскиз (закреть) →.

Выполнить сечение детали.

→ Указать в дереве модели **Эскиз 2** → **Операции** → **Сечение** → **По эскизу** → в панели свойств: **Прямое направление** →  **Создать объект** (рис. 3.14, б).

На рис. 3.14, в показана деталь, часть которой удалена по эскизу, содержащему ломаную линию.

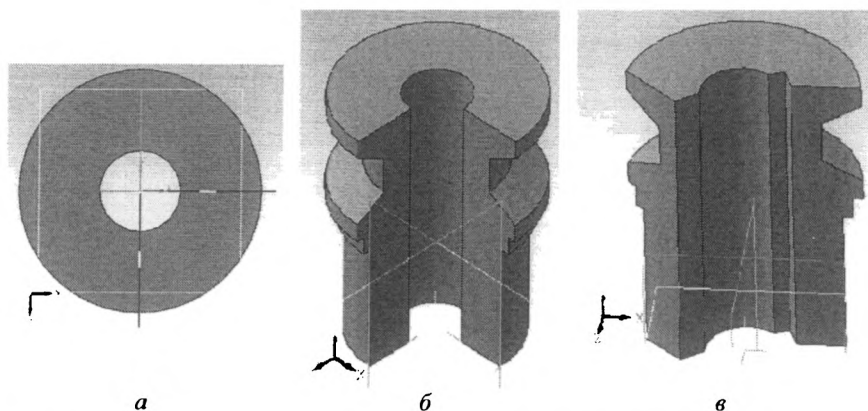


Рис. 3.14. Построение сечений детали по эскизу: *а* – эскиз секущей поверхности; *б* – деталь с четвертным вырезом; *в* – детали, вырезанные по ломаной линии

3.4.5. Создание моделей-сборок

Создание моделей-сборок необходимо и для последующей разработки сборочных чертежей методами объемного проектирования, и для использования в качестве геометрических моделей проектируемых объектов при проведении численного инженерного анализа и др.

Упражнение 3.10. Выполнить сборку деталей опора (модель упражнения 3.2) и вал (модель упражнения 3.4). В сборку добавить стандартные изделия из библиотеки: шайба и гайка.

1. Создать и сохранить сборочный документ.

ФАЙЛ → **СОЗДАТЬ** → **Сборка** → **ОК**.

ФАЙЛ → **Сохранить как** → *Файл «Сборка упражнения 15»* → **СОХРАНИТЬ** → **ОК**.


2. Вставить в сборку первую деталь.

→ **Редактирование сборки** (в инструментальной панели) →

Добавить из файла → в панели **Открытые документы** указать файл детали (если файла нет, указать **Из файла**, затем найти и открыть файл

Модель упражнения 2) → **ОРИЕНТАЦИЯ** → **Изометрия XYZ** → указать точку вставки фантома – начало координат (задать $X = 0$; $Y = 0$; $Z = 0$) → **Enter**, ЛКМ (рис. 3.15, а).

3. Вставить в сборку вторую деталь.

→  **Добавить из файла** → в панели указать **Из файла**, затем найти и открыть файл **Модель упражнения 4** → указать точку вставки фантома рядом с первой деталью, ЛКМ (рис. 3.15, б).

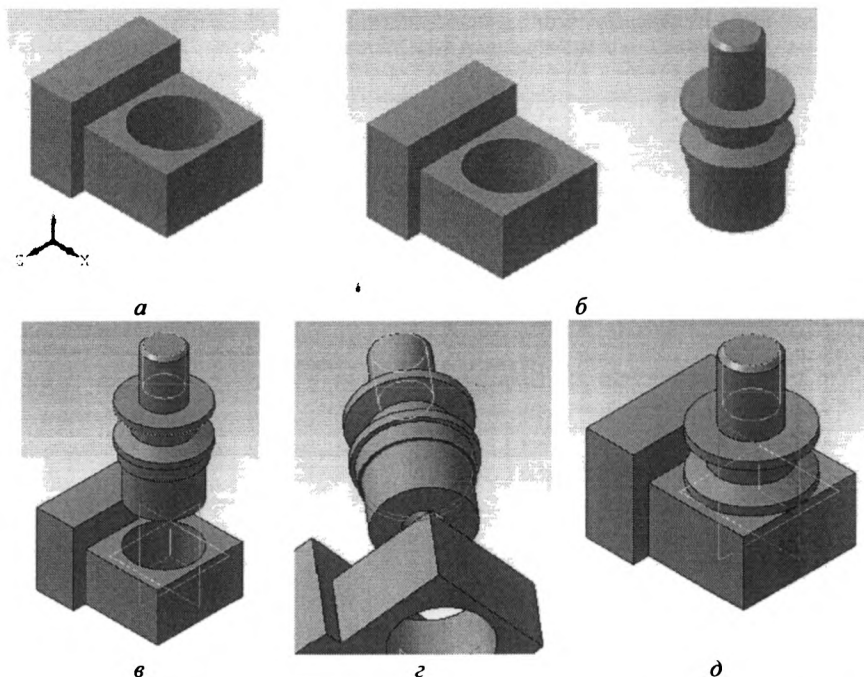




Рис. 3.15. Создание модели-сборки из двух деталей: а – в сборку вставлена первая деталь; б – в модель вставлена вторая деталь и помещена рядом с первой; в – на вторую деталь наложено сопряжение *соосность*; г – указано плоское кольцо для наложения сопряжения *совпадение объектов*; д – созданная модель-сборка двух деталей

4. Задать взаимное положение деталей.

При необходимости проводят приближенную предварительную установку детали. Для этого ее перемещают или (и) вращают. Перемещение: в панели


 **Редактирование сборки** нажать кнопку **Переместить компонент**. Курсором при нажатой клавише мыши захватывают деталь и перемещают. Вращение: в панели **Редактирование сборки** нажать кнопку **Повернуть компонент**. Курсором при нажатой клавише мыши захватывают деталь, при перемещении она вращается, пока не будет нажата кнопка STOP или Esc.

Задание сопряжения **соосность**.

→  **Сопряжения** (в инструментальной панели) → **Соосность** (в появившейся панели) → в панели указать внутреннюю поверхность отверстия опоры; указать цилиндрический участок вала → **STOP** (рис. 3.15, в).

Задание сопряжения **совпадение объектов**.


→ **Совпадение объектов** → в панели указать грань опоры над отверстием;

 **Повернуть**, увеличив вал, указать плоскость кольца, разделяющего нижний цилиндр и буртик (рис. 3.15, г) → **STOP** (рис. 3.15, в) → **ВИД** → **Перестроить**.



5. Вставить в сборку стандартное изделие шайбу.

БИБЛИОТЕКИ → **Стандартные изделия** → **Вставка** → **Вставить элемент** → в панели **Библиотека Стандартные изделия** указать раздел **Крепежные изделия**; затем раздел **Шайбы**; затем выбрать **ГОСТ**, например, **Шайба класса С ГОСТ 10450-78** → во вкладке с изображением и свойствами шайбы двойной щелчок по строке **Диаметр крепежной детали** → указать диаметр детали **30** → **ОК** → **Применить**.

На экране появится фантом шайбы → ЛКМ указать точку привязки; на экране изображение шайбы, обозначение в спецификации и таблица свойств


(рис. 3.16, а) → **ХЗаккрыть спецификацию** →  **Редактирование сборки**; в панели кнопка **Повернуть компонент** → перемещать курсор с нажатой ЛКМ, повернуть шайбу (рис. 3.16, б) → **STOP**.


Задать сопряжения.

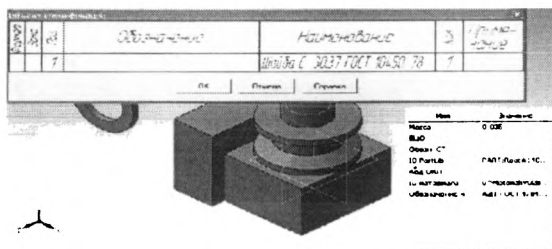
→  **Сопряжения** → **Соосность** → указать внутреннюю поверхность отверстия шайбы; указать верхний цилиндрический участок вала → **STOP** → **Совпадение объектов** → указать верхнюю грань ролика вала и нижнюю грань шайбы (использовать команду  **Повернуть** и увеличение деталей) → **STOP** (объект с шайбой на рис. 3.16, в).

6. Вставить в сборку стандартное изделие гайку.

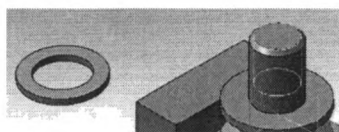
БИБЛИОТЕКИ → **Стандартные изделия** → **Вставка** → **Вставить элемент** → в панели **Библиотека Стандартные изделия** указать раздел **Крепежные изделия**; раздел **Гайки**; раздел **Гайки шестигранные**; выбрать **ГОСТ**, например, **Гайка ГОСТ 15526-70**; 2ЛКМ → во вкладке двойной щелчок по строке **Диаметр резьбы** → указать диаметр **30** → **ОК** → **Применить**.

На экране фантом гайки → ЛКМ указать точку привязки →  **Создать объект** → на экране изображение объекта, обозначение в спецификации и таблица свойств (рис. 3.16, г) → **ХЗаккрыть спецификацию** → **Esc**

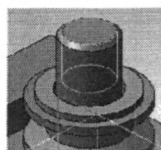
(рис. 3.16, д) →  **Редактирование сборки**; **Повернуть компонент** → повернуть гайку (рис. 3.16, е) → **STOP**.



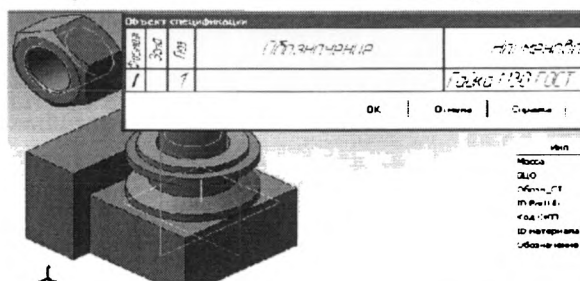
a



б

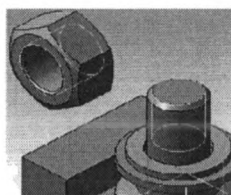


в

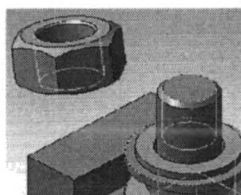


г

2








д



е

Рис. 3.16. Добавление стандартных деталей в модель-сборку: *a* – шайба выбрана в библиотеке; *б* – шайба после поворота; *в* – шайба добавлена в модель наложением сопряжений; *г* – гайка с обозначением и свойствами после выбора в библиотеке; *д* – закрыта спецификация; *е* – выполнен поворот детали

Задать сопряжения.

→  **Сопряжения** → **Соосность** →
указать внутреннюю поверхность
отверстия гайки; указать верхний
цилиндрический участок вала → **STOP** →
Совпадение объектов 
верхнюю грань шайбы и нижнюю грань
гайки (использовать команду 
Повернуть и увеличение деталей) →
STOP →  **ОРИЕНТАЦИЯ** →
 **Изометрия XYZ**

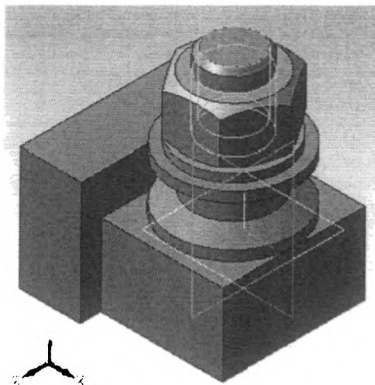


Рис. 3.17. Готовая модель-сборка

Окончательный вариант построения модели-сборки показан на рис. 3.17. Процесс построения сборки выполнен успешно, но в данном случае это недостаток редактора, который «не заметил», что у вала задан шаг резьбы 1,5 мм, а у гайки – 3,5 мм. У вала резьба имела недорез, но редактору это не помешало закрутить гайку до упора.

3.5. Разработка электронных 3D-моделей тепловых устройств

3.5.1. Электронные модели в ЕСКД

Современные технологии проектирования основаны на использовании электронных 3D-моделей технических объектов. Работая с электронными моделями, можно проводить расчетные исследования и оптимизацию конструкций, разрабатывать режимы технологических процессов, создавать программы для обработки на станках с числовым программным управлением, решать задачи логистики и т. д.

Для удобства использования в практике проектирования далее будем отдельно рассматривать электронные модели изделий и имитационные электронные модели, заменяющие реальные объекты при проведении расчетных исследований. На рис. 3.18 показан пример **электронной модели изделия**⁵, то есть модели конкретной детали, по которой в соответствующей САМ-программе могут создаваться траектории движения инструментов в станках ЧПУ, задаваться параметры режимов резания и др. Очевидно, что рисунок показывает не саму модель, а пример ее визуализации. **Имитационные электронные модели** объектов предназначены для испытания и изучения вариантов поведения

⁵ Пример взят из статьи Гринев Д. В. «Электронная модель изделия» в неуказанном издании, размещенной в открытом доступе в Интернете. URL: http://pskgu.ru/projects/pgu/storage/wt/wt153/wt153_01.pdf (дата обращения: 15.07.2013).

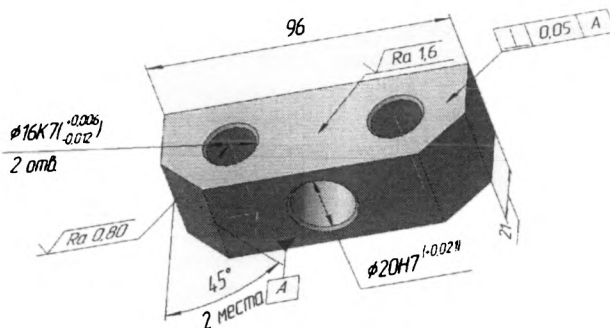


Рис. 3.18. Пример электронной 3D-модели детали

объекта путем варьирования параметров и отражают представления о геометрии объектов, на которых строится их математическая расчетная модель.

Особенности электронного конструкторского документооборота, ориентированного на производство реальных изделий, отражены в ряде ГОСТов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД):

- ГОСТ 2.051-2006 «ЕСКД. Электронные документы. Общие положения».
- ГОСТ 2.052-2006 «ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения».
- ГОСТ 2.053-2006 «ЕСКД. Электронная структура изделия. Общие положения».
- ГОСТ 2.511-2011 «ЕСКД. Правила передачи электронных конструкторских документов. Общие положения».
- ГОСТ 2.512-2011 «ЕСКД. Правила выполнения пакета данных для передачи электронных конструкторских документов. Общие положения».
- ГОСТ 2.611-2011 «ЕСКД. Электронный каталог изделий. Общие положения».
- ГОСТ 2.612-2011 ЕСКД «Электронный формуляр. Общие положения».

В частности, ГОСТ 2.051-2006 «ЕСКД. Электронные документы. Общие положения» устанавливает понятие электронного конструкторского документа (ДЭ), определяемого как конструкторский документ, выполненный в электронной форме и представляющий собой структурированный набор данных. Помимо других реквизитов, набор данных включает еще и электронную цифровую подпись. Установлено понятие твердой копии, то есть копии, полученной на устройствах вывода ЭВМ на бумажном или ином аналогичном носителе, определен ряд терминов: электронный документ, статус версии документа, электронный носитель и др.

В ГОСТ 2.052-2006 «ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения» установлено понятие электронной геометрической модели, которая представляет собой описание формы, размеров и иных свойств изделия. Электронная модель изделия определяется как набор данных, которые вместе определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

В стандарте определен ряд терминов: геометрический элемент, модельное пространство, виды моделей (твердотельная, поверхностная, каркасная), файл модели, атрибут модели и др. Кроме того, ГОСТ 2.052-2006 устанавливает **правила визуализации моделей** на электронных устройствах. Некоторые правила относятся к электронным моделям сборочной единицы (ЭМСЕ), а ряд правил являются общими и для ЭМСЕ и для электронных моделей отдельных деталей (ЭМД).

3.5.2. Электронные «чертежи» в ЕСКД

Из сказанного выше следует, что в настоящее время происходит переход от традиционной формы конструкторской документации (КД) к электронной форме. Пока установлено равноправие старой и новой формы, в будущем, вероятно, ожидается уход от старой формы КД.

Из ГОСТ 2.052-2006 следует, что по электронным моделям деталей для использования в проектных, производственных и иных операциях делают «визуальные отображения конструкций изделия». Для визуализаций отдельный термин не предусмотрен, и это может создавать неудобства, так как электронными моделями приходится называть и наборы данных, с которыми работают компьютеры, и визуализации, с которыми работает производственный персонал.

Терминологию «уточняет» ГОСТ 2.102-68, по которому к основным конструкторским документам отнесены: **электронная модель детали** – документ, содержащий геометрическую модель детали и требования к ее изготовлению и контролю (включая предельные отклонения размеров, шероховатости поверхностей и т. д.); **чертеж детали** – документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для изготовления и контроля. ГОСТ устанавливает **коды документа**, которые указываются в конце обозначения документов: ЭСБ – электронная модель сборочной единицы; ВДЭ – ведомость электронных документов и др. (см. раздел 2.3).

На близость понятий визуального отображения моделей и чертежа указывает словарь Ожегова⁶, по которому чертеж – это изображение чего-либо чертами, линиями на плоскости. Поэтому, возможно, визуализации-отображения можно считать еще и «электронными чертежами», которые выполняются в электронном или бумажном виде.

⁶ Онлайн-версия словаря размещена в Интернете на сайте www.ozhegov.org

Содержание «электронного чертежа детали» (визуализации электронной модели) определяется теми целями, для которых он выпущен. Объект в нем представляется 3D-моделью, которая на «чертеже» может иметь любую ориентацию в пространстве, в частности, положение модели может соответствовать основным видам традиционного чертежа (спереди, слева и т. д.). «Электронный чертеж» изделия может выпускаться без формата, без основной надписи, без осевых линий и без штриховки в сечениях. Но на чертеже должны размещаться оси координат модели, а модель должна иметь каркасное, поверхностное или твердотельное отображение формы.

Плоскости чертежа, в которых ставятся обозначения, должны быть параллельны основным плоскостям проекций модели и должны соответствовать поверхностям модели. Простановка обозначений, знаков, материалов выполняется в соответствии с ЕСКД. Пример электронной модели изделия, взятый из учебных материалов фирмы «АСКОН», показан на рис. 3.19. Для сравнения на рис. 3.20 показан пример электронной модели листовой детали, выполненный в САПР Solid Edge в одной из западных систем конструкторской документации.

ГОСТ 2.052-2006 устанавливает правила выполнения электронных моделей сборочной единицы (ЭМСЕ), которые должны содержать номера позиций составных частей. Номера позиций должны быть указаны в

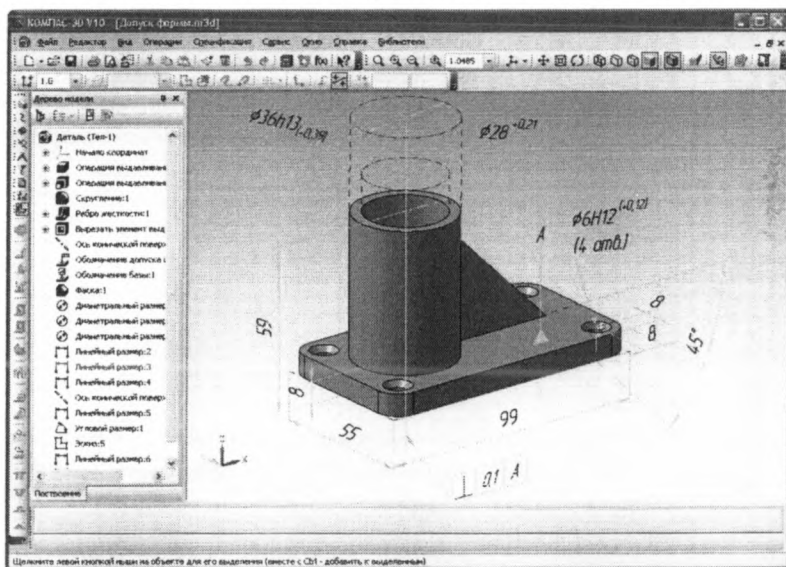


Рис. 3.19. Пример визуализации электронной модели изделия

спецификации или электронной структуре сборки. ЭМСЕ должна содержать установочные, присоединительные и иные необходимые справочные размеры, необходимо указывать наличие неразъемных соединений (сварка, пайка и др.). В обязательном порядке габаритные размеры сборки не ставятся. При необходимости можно указывать техническую характеристику сборочной единицы и положение соседних деталей (обстановку). Процесс построения ЭМСЕ показан на примере из учебных материалов фирмы «АСКОН» (рис. 3.21).

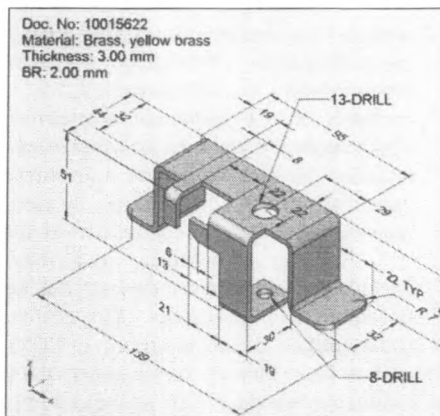


Рис. 3.20. Пример «иностранной» электронной модели

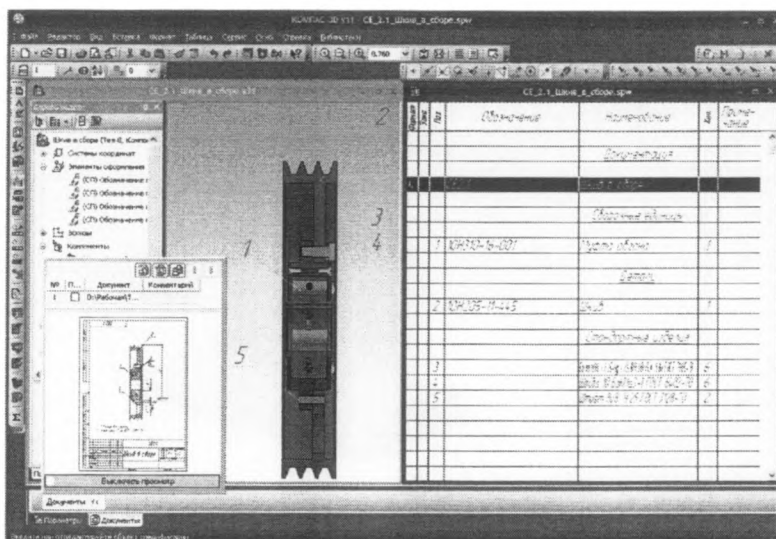
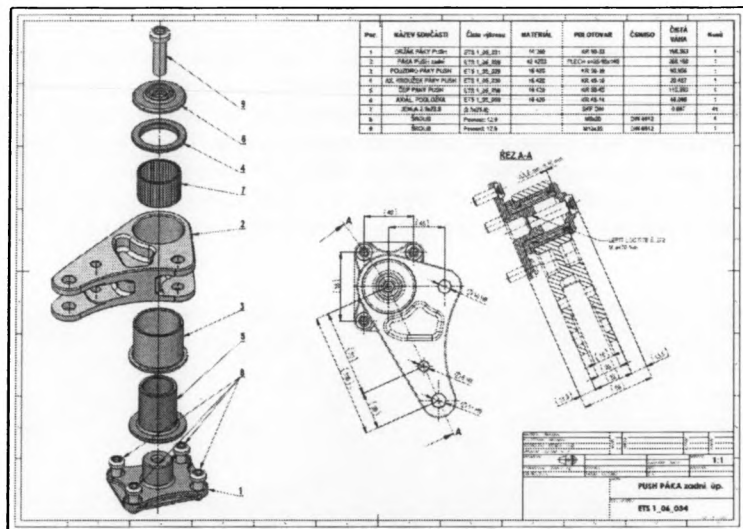


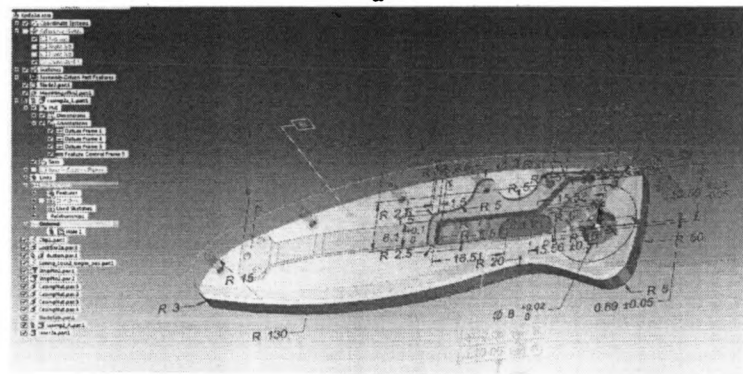
Рис. 3.21. Визуализация электронной модели сборочной единицы в процессе разработки

В РФ нет значительного опыта работы с электронными моделями, поэтому на рис. 3.22 для сравнения показаны зарубежные аналоги ЭМСЕ (примеры взяты из рекламных публикаций в открытом доступе в Интернете). К сожалению, материалы не дают представления о способах построения и визуализации

электронных моделей для изделий сложной формы, имеющих сложную конфигурацию внутренних полостей.



a



б

Рис. 3.22. Примеры «иностранных» электронных моделей сборочных единиц:
а – сборка с номерами позиций деталей и спецификацией; б – пример работы с каталогом электронных моделей единиц сборки в САПР Solid Edge

Далее процесс разработки электронных 3D-моделей тепловых устройств рассматривается на примере имитационной модели технического объекта и на примере модели изделия.

3.5.3. Электронная имитационная модель огневой камеры для контрольного испытания газовой горелки ДВБ-250

В примере считается, что на некотором объекте проводятся предпроектные исследования технологического агрегата. В ходе работы появилась необходимость провести контрольные испытания газовой горелки ДВБ-250 при ее использовании для отопления агрегата. Технологический агрегат состоит из цилиндрической огневой камеры, футерованной огнеупорным кирпичом, и горелки (рис. 3.23). Торцовые стенки камеры имеют отверстия для установки горелки – с одной стороны, и для отвода продуктов горения – с другой стороны.

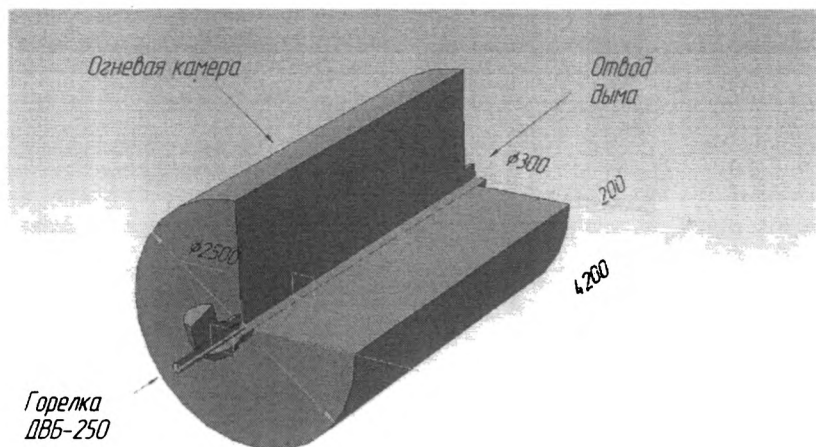


Рис. 3.23. Схематическое изображение теплового устройства, полученное на основе его электронной модели

Часто экспериментальные исследования характеристик и работы горелок на конкретных технологических агрегатах затруднены отсутствием соответствующих стендов. Поэтому в рассматриваемом примере влияние конструкции агрегата на работу горелки предполагается учесть посредством вычислительных экспериментов. Для агрегата должна быть разработана электронная имитационная модель, на которой будут изучены процессы тепло- и массообмена в камере и определены характеристики горелки.

В расчете наиболее важны процессы внешнего теплообмена в газовом объеме камеры, поэтому границы модели камеры совпадают с границами ее внутреннего объема, по которому движутся газ, воздух и продукты горения. Иначе говоря, модель на рис. 3.23 – это изображение поверхностей, ограничивающих газовые объемы внутри камеры и внутри горелки. Влияние

конструкции кладки камеры и стенок на процессы горения и переноса учитывается заданием условий на границах газового объема.

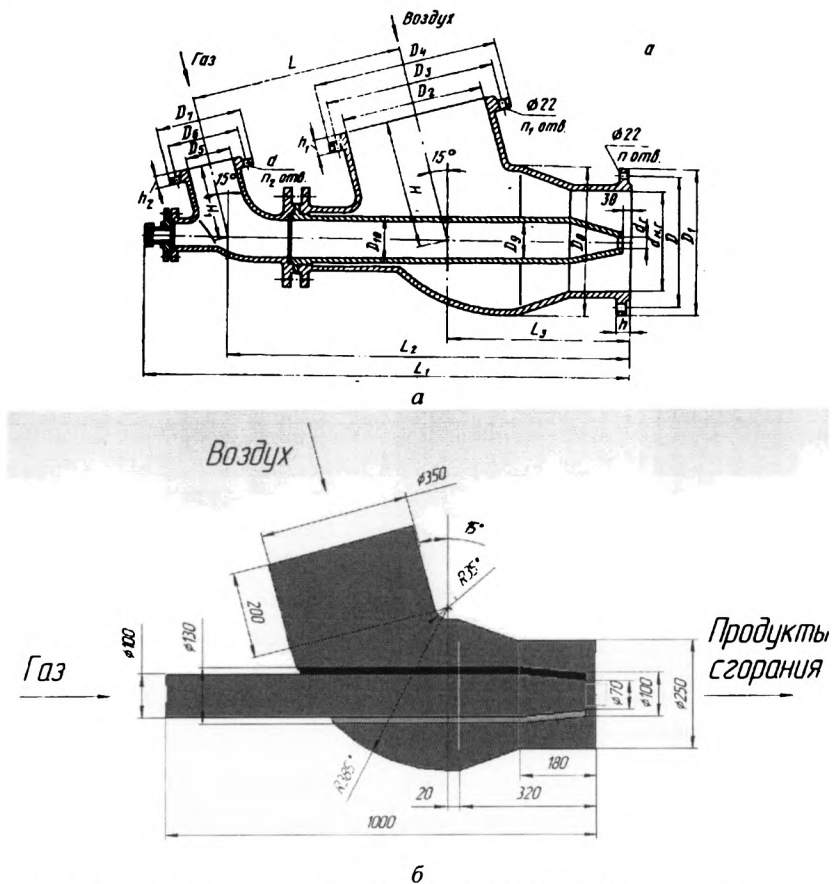



Рис. 3.24. Использование реальной геометрии горелки ДВБ-250 (а) для определения параметров ее электронной геометрической модели (б)

При построении модели наиболее подробно геометрия описывается у элементов, формирующих движение газов в камере (в районе сужений, сопел, преград). На рис. 3.24, а показана схема реальной горелки. В модели геометрия горелки может быть менее детальной, в ней нет стенок, имеются только полости. На рис. 3.24, б показана геометрия горелки, принятая для разработки ее электронной геометрической модели в соответствии с планируемыми целями расчетного исследования.

Последовательность построения 3D-модели горелки

1. Создать и сохранить файл детали



ФАЙЛ → **СОЗДАТЬ** → **ДЕТАЛЬ** (во вкладке **Новый документ**) → **ОК**.
→  **СОХРАНИТЬ** (на панели **Стандартная**) → Ввести имя (например, Горелка ДВБ) → **СОХРАНИТЬ** → **ОК**.


2. Создать выдавливанием цилиндр.



Задать ориентацию основных плоскостей.

→  **ОРИЕНТАЦИЯ** (на панели **Вид**) →  **Изометрия XYZ** →

Выбрать плоскость для построения эскиза фигуры.


→  **Начало координат** (в дереве модели) →  **Плоскость XY** (указать в дереве модели).

 **Эскиз** → **Инструменты** (в **Главном меню**) → **Геометрия** → **Окружности** → **Окружность** → В панели свойств ввести: центр $X = 0$; $Y = 0$; диаметр 250;


стиль основная → **Enter** → **Stop** →  **Эскиз** (Заккрыть эскиз) → **Операции** (в **Главном меню**) → **Операция** → **Выдавливания** → в панели свойств ввести **Прямое направление**; **Расстояние 180** →  **Создать объект** (рис. 3.25, а).



3. Приклеить элемент по сечениям.

Элемент создается по двум эскизам. Для второго эскиза создается смещенная плоскость.

→ Указать левую грань цилиндра → **Операции** (в **Главном меню**) → **Плоскость** → **Смещенная** → в панели свойств: расстояние 140 → **Enter** →  **Создать объект** → **Stop**.

→ Указать левую грань цилиндра →  **Эскиз** → **Операции** → **Спроецировать объект** →  **ОРИЕНТАЦИЯ** →  **Изометрия XYZ** →

→ Указать левую грань → **Stop** →  **Эскиз** (Заккрыть эскиз) → Указать смещенную плоскость →  **Эскиз** → **Инструменты** (в **Главном меню**) → **Геометрия** → **Окружности** → **Окружность** → В панели свойств ввести: центр $X = 0$; $Y = 0$; диаметр 350; стиль основная → **Enter** → **Stop** →

 **Эскиз** (Заккрыть эскиз) → **Операции** (в **Главном меню**) → **Операция** → **По сечениям** → Указать сечения в дереве модели в порядке следования (Эскиз 2, Эскиз 3) (рис. 3.25, б) →  **Создать объект** (рис. 3.25, в).

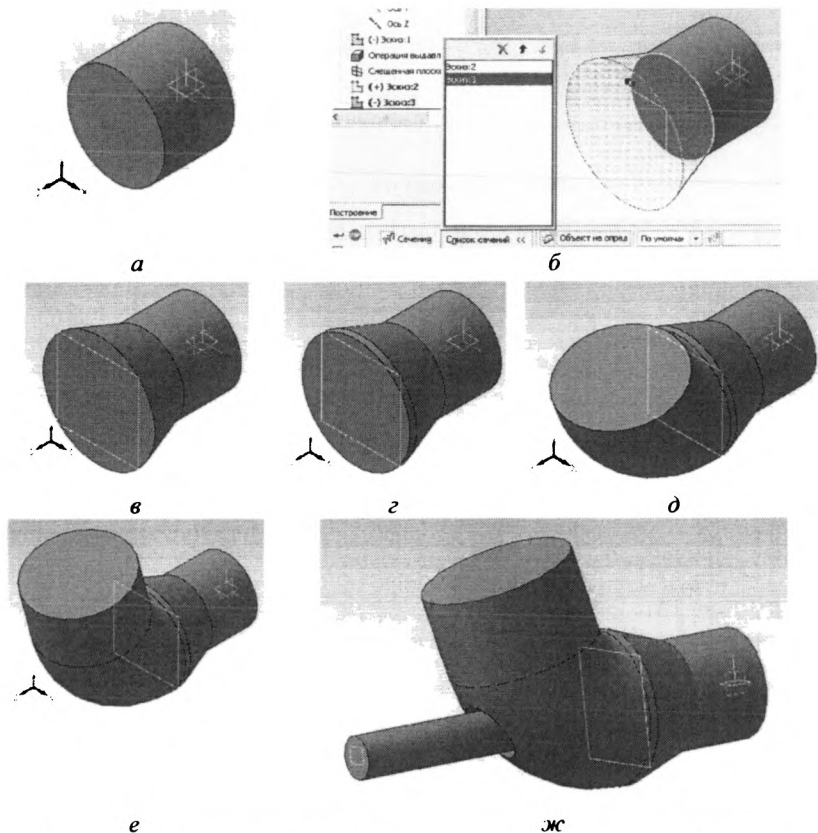


Рис. 3.25. Последовательность построения электронной геометрической модели горелки ДВБ-250: а, б, в, г, д, е – изображения на экране, полученные в процессе построений, указанных в тексте; ж – окончательный вид модели горелки

4. Приклеить цилиндр выдавливанием левой грани на расстояние 20 мм.

→ Указать в дереве модели Эскиз 3 (окружность на левой грани модели) → **Операции (в Главном меню) → Операция → Выдавливания** → в панели свойств ввести **Прямое направление; Расстояние 20** → **Создать объект** (рис. 3.25, г).


5. Добавить элемент вращения (тороидальную часть корпуса).

Эскиз фигуры вращения (окружности)

→ Указать левую грань → **Эскиз** → **Операции (в Главном меню) → Спроецировать объект** → **ОРИЕНТАЦИЯ** → **Изометрия X*Z** → Указать левую грань → **Stop** → **ОРИЕНТАЦИЯ** → **Спереди**.

Ось вращения


→ **Инструменты** → **Геометрия** → **Отрезки** → **Отрезок** → *В панели свойств: точка1 X = -175; Y = 210; точка2 X = 175; Y = 210; стиль осевая* → **Enter** →

Stop →  **Эскиз (Закрыть эскиз).**


Вращение окружности

→ **Операции** → **Операция** → **Вращения** → *В панели: Прямое направление;*


Угол прямого направления 75 →  **Создать объект** →  **ОРИЕНТАЦИЯ**

→  **Изометрия XYZ** (рис. 3.25, d).

6. Добавить верхний цилиндр выдавливанием.

→ *Указать левую грань* → **Операции (в Главном меню)** → **Операция** → **Выдавливания** → *в панели свойств ввести Прямое направление; Расстояние 200* →  **Создать объект** (рис. 3.25, e).

7. Создать вспомогательную плоскость на расстоянии 1000 мм от выходного сечения.

→ *Повернуть модель и указать правую грань* → **Операции** → **Плоскость** → **Смещенная** → *В панели свойств: расстояние 1000; Обратное направление* →  **Создать объект** → **Stop**.

8. ...

Дальнейшие построения используют созданную вспомогательную плоскость и здесь не рассматриваются.

Окончательный вид построенной 3D-модели горелки ДВБ-250 показан на рис. 3.25, ж. После дополнения модели горелки моделью цилиндрической камеры получена электронная модель теплового устройства в целом, показанная на рис. 3.23. В данном случае правильнее сказать, что на рисунке приведена не электронная модель, а схематическое изображение, полученное на ее основе (для наглядности рисунок дополнен четвертным вырезом, размерами и текстом). Модель не имеет отдельных частей, поэтому надписи со стрелками указывают не на детали сборки, они не параллельны координатным плоскостям и сделаны только для лучшего восприятия. Не показаны оси координат.

Электронная модель теплового устройства сохранена в файле с форматом Parasolid и передана для проведения расчетных исследований в программу ANSYS CFX. Методика проведения расчетных исследований подробно рассмотрена в главе 5.

3.5.4. Электронная модель сборочного изделия «Газовая горелка»

Пример показывает один из возможных вариантов последовательности действий при создании электронной модели технического устройства. В качестве объекта проектирования выбрана газовая горелка ДВС-150/40. Такие горелки часто используют для отопления печей нагрева металла в металлургии. Обозначение горелки указывает, что горелка дутьевая, средней тепловой

мощности, относится к типу «труба в трубе». Горелка имеет диаметр носика 150 мм и диаметр газового сопла 40 мм. Схема горелки приведена на рис. 3.26. Размеры даны в справочной литературе.

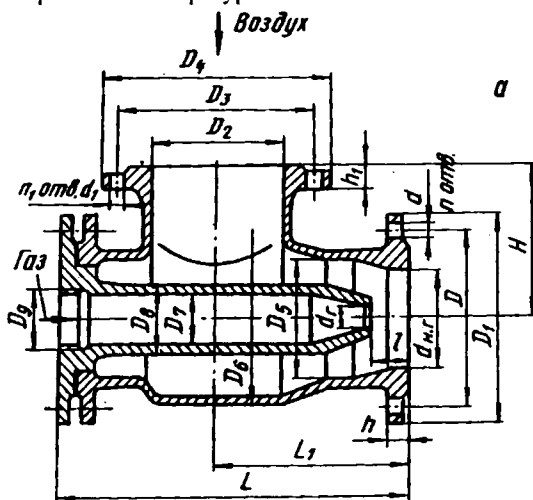


Рис. 3.26. Схема горелок типа «труба в трубе»

Конструкция горелки включает: корпус, газовое сопло, уплотнительную прокладку и 8 комплектов болтового соединения (болт, гайка, шайба). Газопровод присоединяется к горелке на резьбе $G\ 2\frac{1}{2}$ ". Предусмотрено крепление переднего фланца на корпусе к специальной горелочной плите.

Выше отмечено, что в ГОСТах ЕСКД разрешены разные варианты исполнения визуальных отображений электронных моделей сборочных единиц. Можно ожидать, что промышленность будет долго использовать модели на бумажных носителях наряду с электронными. Поэтому модель размещается на листе стандартного формата А3, в котором основная надпись совмещена со спецификацией компонентов сборки. При построении электронной модели использована 3D-модель горелки, разработанная на занятиях по компьютерному проектированию кафедры ТИМ УрФУ студенткой Е. О. Васьковой под руководством преподавателя Е. В. Киселева.

Последовательность построений 3D-моделей рассмотрена выше, поэтому на рис. 3.27 приведен окончательный вариант электронной модели устройства. Здесь модель – это совокупность геометрических моделей конкретных деталей горелки, а не пространство для движения газов как на рис. 3.23.

Следует учесть, что рис. 3.27 представляет один из допустимых вариантов выполнения электронной модели. Вероятно, что при отображении модели не на бумаге, а на мониторе, спецификация будет заменена электронным каталогом, не будут использоваться чертежные форматы и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования : учебник для вузов / И. П. Норенков. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 336 с.
2. *Дзюзер В. Я.* Введение в автоматизированное проектирование : учеб. пособие / В. Я. Дзюзер, В. С. Швыдкий, А. С. Шишкин. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2007. 180 с.
3. *Денисов М. А.* Математическое моделирование теплофизических процессов. ANSYS и CAE-проектирование : учеб. пособие / М. А. Денисов. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 149 с.
4. АСКОН : [официальный сайт] // URL: <http://www.ascon.ru>.
5. КОМПАС-3D V10. Руководство пользователя. Том I. М. : ЗАО АСКОН, 2008. 375 с.
6. КОМПАС-3D V10. Руководство пользователя. Том II. М. : ЗАО АСКОН, 2008. 342 с.
7. КОМПАС-3D V10. Руководство пользователя. Том III. М. : ЗАО АСКОН, 2008. 424 с.

Учебное издание

Денисов Михаил Александрович

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ.
КОМПАС-3D**

Корректор *Е. Е. Крамареvская*
Компьютерная верстка *Н. В. Короткова*

Подписано в печать Формат 60x84 1/16.
Бумага типографская. Плоская печать. Усл. печ. л. 9,5.
Уч.-изд. л. 8,8. Тираж 100 экз. Заказ 5054.

Издательство Уральского университета
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4

Отпечатано в типографии ООО «Издательство УМЦ УПИ»
620062, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.
Тел.: (343) 362-91-16, 362-91-17